

**CARLOS ALBERTO TEIXEIRA**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E DE CUSTO  
EM UNIDADES ARMAZENADORAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006**

**CARLOS ALBERTO TEIXEIRA**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E DE CUSTO  
EM UNIDADES ARMAZENADORAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

APROVADA: 11 de julho de 2006

---

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho  
(Co-Orientador)

---

Prof. Roberto Precci Lopes

---

Prof. José Márcio Costa

---

Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro

---

Prof. Delly Oliveira Filho  
(Orientador)

Aos meus pais, Teodora Francisca Xavier e  
José Justiniano Teixeira.

Aos meus irmãos, Rita de Cássia Teixeira,  
Maria de Fátima Teixeira e José Eduardo Teixeira (*in memoriam*).

À minha esposa, Maria Aparecida Gomes Teixeira  
e minha filha Aline Gomes Onésimo.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, meu papai do céu, pela saúde e por tudo mais.

A meus familiares, e amigos, pelo apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Curso de Pós-Graduação.

Ao professor Delly Oliveira Filho, pela amizade, confiança e orientação.

Aos professores conselheiros, Adílio Flauzino de Lacerda Filho e José Helvecio Martins, pela amizade, orientação, paciência e valiosas sugestões.

A todos os meus amigos da Área de Energia na agricultura e da Área de Armazenamento e Pré-Processamento de Produtos vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola, pela amizade, companheirismo e lealdade.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, Catitú, Dona Maria, Dona Fátima, Edna, Edson, Inhame, Joel, José Galinári, José Mauro, Juvercino, Jurandir, Marcos e Renato.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo financiamento dos estudos e da pesquisa.

À Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia - CAROL, por ter cedido generosamente as unidades armazenadoras de Guáira e Ituverava para realização dos estudos de auditoria energética, na pessoa do senhor Humberto Fernando Dal Pino (Superintendente), Pedro Bérghamo Júnior (Gerente Industrial e Armazenagem), Sandro Alexandre Zanutto (Gerente da Unidade de São Joaquim da Barra), Warner G. de

Oliveira Júnior (Gerente da Unidade Armazenadora de Guaíra), Jucimar Serra (Gerente da Unidade Armazenadora de Ituverava) e Sra Cléuza .

Aos funcionários da Cooperativa dos Agricultores de Orlândia, da Unidade de Guaíra, Edson (encarregado do silo) e equipe: Valdecir, Paulo, Roberto, João, Antônio, Dejair, Zequinha e Toninho. Aos funcionários do escritório, Agnaldo (encarregado do escritório) e equipe: Vanessa, Eliana, Giovana, Lucinéia, Marli e todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos funcionários da Cooperativa dos Agricultores de Orlândia, da Unidade de Ituverava, Tunico e Cássio (encarregados do silo) e equipe: Ranufo, Japonês, Daniel e Florisvaldo. Aos funcionários do escritório, Antônio Carlos (encarregado do escritório), Tiago e equipe.

A meus amigos de Jundiaí, SP, que continuaram torcendo e fizeram o possível por mim, especialmente Alexandre, Ricardo e Chico.

A todos meus amigos de Viçosa, pelo apoio, pelo incentivo e solidariedade.

## **BIOGRAFIA**

CARLOS ALBERTO TEIXEIRA, filho de Teodora Francisca Xavier e José Justiniano Teixeira, nasceu no dia 12 de julho de 1973, em Itu, SP.

Em 30 de dezembro de 1992, recebeu a habilitação profissional parcial de Desenhista de Agrimensura, na Escola Técnica Estadual Vasco Antônio Venchiarutti (ETEVAV), Jundiaí, SP.

Em 30 de junho de 1993, recebeu a habilitação profissional plena de Técnico em Agrimensura, na Escola Técnica Estadual Vasco Antônio Venchiarutti (ETEVAV), Jundiaí, SP.

Em janeiro de 2000, recebeu a habilitação profissional em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Em fevereiro de 2002, concluiu o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na área de Energia na Agricultura, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Em julho de 2006, concluiu o Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, na área de Energia na Agricultura, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

## ÍNDICE

|  |       |
|--|-------|
| LISTA DE QUADROS.....  | x     |
| LISTA DE FIGURAS.....  | xvi   |
| RESUMO.....  | xviii |
| ABSTRACT.....  | xx    |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL.....   | 1     |
| 1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 7     |
| 2. AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E DE CUSTO EM UNIDADES<br>ARMAZENADORAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO DE GRÃOS..... | 9     |
| RESUMO.....  | 9     |
| 2.1. INTRODUÇÃO.....   | 11    |
| 2.2. REVISÃO DE LITERATURA.....  | 13    |
| 2.2.1. Conceitos e características de unidades armazenadoras.....                                  | 13    |
| 2.2.2. Operações unitárias em pré-processamento de grãos.....                                      | 14    |
| 2.2.3. Pré-limpeza.....  | 17    |
| 2.2.4. Transportadores de grãos.....   | 19    |
| 2.2.5. Sistemas de secagem.....  | 23    |
| 2.2.6. Secagem contínua.....   | 33    |
| 2.2.7. Secagem intermitente.....   | 34    |
| 2.2.8. Secadores do tipo torre com fluxos mistos.....  | 34    |
| 2.2.9. Secagem combinada.....  | 37    |
| 2.2.10. Sistemas de aquecimento de ar.....   | 38    |
| 2.2.11. Fornalha.....  | 39    |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 2.2.12. | Dimensionamento de ventilador.....   | 42  |
| 2.2.13. | Avaliação do sistema de secagem.....   | 46  |
| 2.2.14. | Custo operacional de secagem .....   | 47  |
| 2.2.15. | Qualidade de grãos.....  | 49  |
| 2.3.    | OBJETIVO.....  | 51  |
| 2.4.    | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 52  |
| 2.4.1.  | Desenvolvimento de metodologia para avaliação da demanda de energia e custo das operações unitárias em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos..... | 52  |
| 2.4.2.  | Estudos de caso – Aplicação da metodologia, em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlandia.....                            | 70  |
| 2.5.    | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 71  |
| 2.5.1.  | Unidade armazenadora de Ituverava.....   | 71  |
| 2.5.2.  | Unidade armazenadora de Guaíra.....  | 101 |
| 2.6.    | CONCLUSÃO.....   | 137 |
| 2.7.    | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 141 |
| 3.      | RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES ARMAZENADORAS.....   | 144 |
|         | RESUMO.....  | 144 |
| 3.1.    | INTRODUÇÃO.....  | 146 |
| 3.2.    | REVISÃO DE LITERATURA.....   | 148 |
| 3.2.1.  | Motor elétrico.....  | 148 |
| 3.2.2.  | Caracterização de equipamentos.....  | 152 |
| 3.2.3.  | Curvas características de motores elétricos.....   | 159 |
| 3.2.4.  | Adequação de força motriz.....   | 160 |
| 3.2.5.  | Sistema tarifário.....   | 162 |
| 3.2.6.  | Sistema de iluminação.....   | 163 |
| 3.2.7.  | Qualidade do fornecimento de energia elétrica.....   | 164 |
| 3.2.8.  | Análise econômica.....   | 167 |
| 3.3.    | OBJETIVO.....  | 170 |
| 3.4.    | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 171 |
| 3.4.1.  | Metodologia para racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras de produtos agrícolas.....  | 171 |
| 3.4.2.  | Estudos de caso – Aplicação da metodologia em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlandia.....                             | 173 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.5.   | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 174 |
| 3.5.1. | Racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras de produtos agrícolas.....                                       | 174 |
| 3.5.2. | Estudos de caso – Aplicação da metodologia em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlandia..... | 175 |
| 3.6.   | CONCLUSÃO.....   | 206 |
| 3.7.   | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 208 |
| 4.     | SOLUÇÕES ENERGÉTICAS APLICADAS A UNIDADES ARMAZENADORAS.....   | 210 |
|        | RESUMO.....  | 210 |
| 4.1.   | INTRODUÇÃO.....  | 212 |
| 4.2.   | REVISÃO DE LITERATURA.....   | 214 |
| 4.2.1. | Planejamento energético.....   | 214 |
| 4.2.2. | Sistema tarifário.....   | 215 |
| 4.2.3. | Geração distribuída.....   | 215 |
| 4.2.4. | Cogeração.....   | 217 |
| 4.2.5. | Análise econômica.....   | 227 |
| 4.3.   | OBJETIVO.....  | 228 |
| 4.4.   | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 229 |
| 4.4.1. | Cogeração em unidades armazenadoras utilizando lenha e seus resíduos.....  | 229 |
| 4.4.2. | Geração distribuída em unidades armazenadoras.....   | 230 |
| 4.5.   | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 232 |
| 4.5.1. | Cogeração em unidades armazenadoras utilizando lenha e seus resíduos.....  | 232 |
| 4.5.2. | Geração distribuída em unidades armazenadoras.....   | 235 |
| 4.6.   | CONCLUSÃO.....   | 239 |
| 4.7.   | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 241 |
| 5.     | ANÁLISE TÉCNICA E ENERGÉTICA DA LEGISLAÇÃO QUE REGULAMENTA A COMERCIALIZAÇÃO E QUALIDADE DE PRODUTOS AGRÍCOLAS NO BRASIL.....        | 243 |
|        | RESUMO.....  | 243 |
| 5.1.   | INTRODUÇÃO.....  | 245 |
| 5.2.   | OBJETIVO.....  | 249 |
| 5.3.   | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 250 |
| 5.3.1. | Proposição de modificação na legislação brasileira de comercialização de grãos.....  | 251 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.3.2. | Estudos de caso - análise técnica e energética de duas unidades armazenadoras.....   | 254 |
| 5.4.   | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 255 |
| 5.4.1. | Proposição de modificação na legislação brasileira de comercialização de grãos.....  | 255 |
| 5.4.2. | Estudos de caso - análise técnica e energética de duas unidades armazenadoras.....   | 259 |
| 5.5.   | CONCLUSÃO.....   | 263 |
| 5.6.   | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 265 |
| 6.     | CONCLUSÃO GERAL.....   | 266 |
| 6.1.   | Avaliação de unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos.....   | 266 |
| 6.2.   | Racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos.....                       | 267 |
| 6.3.   | Soluções energéticas aplicadas a unidades armazenadoras.....   | 268 |
| 6.4.   | Análise técnica e econômica sobre a legislação que trata da comercialização e qualidade de produtos agrícolas no Brasil..... | 269 |
| 7.     | APÊNDICES.....   | 271 |
| 7.1.   | Apêndice A.....  | 272 |
| 7.2.   | Apêndice B.....  | 278 |
| 7.3.   | Apêndice C.....  | 283 |
| 7.4.   | Apêndice D.....  | 300 |

## LISTA DE QUADROS

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Quadro 2.1.  | Constantes das isotermas de equilíbrio para alguns produtos.....                                      | 16 |
| Quadro 2.2.  | Classificação e aplicabilidade dos transportadores.....   | 22 |
| Quadro 2.3.  | Operador laplaciano para diferentes geometrias.....   | 25 |
| Quadro 2.4.  | Distribuição do consumo específico de energia em um secador de fluxo cruzado.....                     | 37 |
| Quadro 2.5.  | Capacidade relativa do transportador em função do ângulo de inclinação do transportador.....          | 55 |
| Quadro 2.6.  | Coefficiente para transporte horizontal ( $C_1$ ) e vertical ( $C_2$ ) para soja e milho.....         | 55 |
| Quadro 2.7.  | Dimensões físicas dos secadores.....  | 61 |
| Quadro 2.8.  | Legenda para o fluxograma da Figura 2.11.....   | 72 |
| Quadro 2.9.  | Dados nominais dos equipamentos em estudo para o produto soja em grãos.....                           | 72 |
| Quadro 2.10. | Consumo e gasto com energia elétrica na linha de processamento do secador 2 com transportadores.....  | 76 |
| Quadro 2.11. | Potência demandada nas fitas transportadoras da unidade obtida por diferentes formas.....             | 77 |
| Quadro 2.12. | Potência demandada em elevadores de caçamba da unidade armazenadora obtida por diferentes formas..... | 78 |
| Quadro 2.13. | Capacidade de transporte efetiva dos elevadores 02 e 03 com a carga de trabalho diária – teste 1..... | 79 |
| Quadro 2.14. | Capacidade de transporte efetiva dos elevadores 02 e 03 com a carga de trabalho diária – teste 2..... | 79 |
| Quadro 2.15. | Capacidade de transporte efetiva dos elevadores 02 e 03 com a carga de trabalho diária – teste 3..... | 80 |

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Quadro 2.16. | Consumo e custo com energia elétrica na linha de processamento do secador 2 com máquinas de limpeza e pré-limpeza.....         | 81  |
| Quadro 2.17. | Consumo e custo com energia elétrica na linha de processamento do secador 2 com o motor do ventilador descarga do secador..... | 83  |
| Quadro 2.18. | Temperatura na câmara de secagem e temperatura do ar de secagem – produto milho.....   | 83  |
| Quadro 2.19. | Temperatura máxima permitida na massa de grãos durante a secagem.....  | 83  |
| Quadro 2.20. | Dados nominais da fornalha da unidade armazenadora de Ituverava.....   | 84  |
| Quadro 2.21. | Teor de água e poder calorífico de lenha em três estados de conservação.....   | 84  |
| Quadro 2.22. | Massa específica básica de três tipos de lenha.....  | 85  |
| Quadro 2.23. | Balanço de massa e energia para cálculo da vazão do ventilador ...   | 86  |
| Quadro 2.24. | Cálculo da área de grelha da fornalha.....   | 88  |
| Quadro 2.25. | Variação da temperatura nas câmaras do secador 2.....  | 89  |
| Quadro 2.26. | Medição da velocidade do ar no secador 2.....  | 90  |
| Quadro 2.27. | Teor de água dos grãos e umidade relativa do ar.....   | 92  |
| Quadro 2.28. | Variação da massa específica de milho na operação de secagem....   | 93  |
| Quadro 2.29. | Teste do secador tipo torre de fluxos mistos para a unidade armazenadora de Ituverava.....                                     | 94  |
| Quadro 2.30. | Consumo de energia e eficiência de secagem .....   | 96  |
| Quadro 2.31. | Resultado experimental da avaliação energética do sistema de secagem.....  | 97  |
| Quadro 2.32. | Dados de entrada para o cálculo do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata da unidade armazenadora de Ituverava..... | 99  |
| Quadro 2.33. | Resultado da simulação do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata, sem reaproveitamento do ar.....                   | 100 |
| Quadro 2.34. | Resultado da simulação do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata, com reaproveitamento duplo do ar.....             | 101 |
| Quadro 2.35. | Legenda para o fluxograma das figuras 2.14, 2.15 e 2.16.....   | 102 |
| Quadro 2.36. | Dados nominais dos equipamentos em estudo para o produto soja em grãos.....  | 103 |
| Quadro 2.37. | Consumo e custo com energia elétrica na linha de processamento do secador 3 com transportadores.....                           | 109 |
| Quadro 2.38. | Potência demandada em fitas transportadoras da unidade armazenadora de Guaíra.....   | 110 |
| Quadro 2.39. | Potência demandada em elevadores de caçambas da unidade armazenadora obtidas por diferentes formas.....                        | 111 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Quadro 2.40. | Consumo e gasto com energia elétrica na linha de processamento do secador 3 com máquinas de limpeza e pré-limpeza.....                    | 113 |
| Quadro 2.41. | Consumo e gasto com energia elétrica na linha de processamento do secador 3 com os motores do ventilador e descarga do secador.           | 113 |
| Quadro 2.42. | Temperatura na câmara de secagem e temperatura do ar de secagem – Secador 2 – produto sorgo.....  | 114 |
| Quadro 2.43. | Temperatura na câmara de secagem e temperatura do ar de secagem - Secador 3 – Produto milho.....  | 114 |
| Quadro 2.44. | Temperaturas máximas na massa de grãos durante a secagem.....   | 114 |
| Quadro 2.45. | Dados nominais da fornalha utilizada com o secador 03.....  | 115 |
| Quadro 2.46. | Balanço de massa e energia para cálculo da vazão de ventilador ...  | 117 |
| Quadro 2.47. | Cálculo da área de grelha da fornalha.....  | 118 |
| Quadro 2.48. | Variação da temperatura nas câmaras do secador 3.....   | 120 |
| Quadro 2.49. | Medição da velocidade do ar no secador 3.....   | 122 |
| Quadro 2.50. | Teor de água dos grãos e umidade relativa do ar.....  | 123 |
| Quadro 2.51. | Variação da massa específica de milho na operação de secagem ...  | 124 |
| Quadro 2.52. | Teste do secador tipo torre de fluxos mistos para a unidade armazenadora de Guaíra.....   | 125 |
| Quadro 2.53. | Consumo de energia e eficiência de secagem do secador tipo torre de fluxos mistos.....  | 128 |
| Quadro 2.54. | Resultado experimental da avaliação energética do sistema de secagem.....   | 129 |
| Quadro 2.55. | Simulação do processo de secagem, utilizando-se o modelo de Thompson para secadores de fluxo misto.....                                   | 130 |
| Quadro 2.56. | Dados de entrada para o cálculo do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata da unidade armazenadora de Ituverava.....            | 134 |
| Quadro 2.57. | Resultado da simulação do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata, sem reaproveitamento do ar.....                              | 135 |
| Quadro 2.58. | Resultado da simulação do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata, com reaproveitamento duplo do ar.....                        | 135 |
| Quadro 3.1.  | Ensaio de laboratório realizados em motores elétricos.....  | 153 |
| Quadro 3.2.  | Caracterização quanto à temperatura das diferentes classes de isolamento de motores elétricos.....  | 156 |
| Quadro 3.3.  | Valores de letra código para motores elétricos.....   | 156 |
| Quadro 3.4.  | Relação e características de motores instalados nos diferentes equipamentos, que compõem a unidade armazenadora de Ituverava.....         | 175 |
| Quadro 3.5.  | Relação e características de alguns dos motores instalados nos diferentes equipamentos, que compõem a unidade armazenadora de Guaíra..... | 176 |

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Quadro 3.6.  | Parâmetros de entrada para análise econômica de vida útil da adequação de força motriz e de corrente da FT1.....   | 179 |
| Quadro 3.7.  | Resultados da análise econômica de vida útil para as opções estudadas.....   | 180 |
| Quadro 3.8.  | Relação e características técnicas, categoria e classe de isolamento dos motores instalados nos diferentes equipamentos que compõem a unidade armazenadora de Ituverava.....                 | 181 |
| Quadro 3.9.  | Relação e características técnicas, categoria e classe de isolamento dos motores instalados nos diferentes equipamentos que compõem a unidade armazenadora de Guaíra.....                    | 182 |
| Quadro 3.10. | Adequação tarifária para a unidade armazenadora de Ituverava com as faturas de energia elétrica do biênio 2001/2002 e 2002/2003, respectivamente.....  | 183 |
| Quadro 3.11. | Adequação tarifária para a unidade armazenadora de Guaíra com as faturas de energia elétrica do biênio 2001/2002 e 2002/2003, respectivamente.....   | 184 |
| Quadro 3.12. | Cargas de iluminação da unidade armazenadora de Ituverava.....   | 186 |
| Quadro 3.13. | Cargas de iluminação da unidade armazenadora de Guaíra.....  | 187 |
| Quadro 3.14. | Custo com iluminação das unidades armazenadoras de Ituverava e Guaíra com os equipamentos atuais e com equipamentos eficientes.....  | 188 |
| Quadro 3.15. | Dados de entrada para análise da unidade armazenadora de Ituverava com a utilização dos equipamentos atuais e com a utilização de equipamentos eficientes.....                               | 188 |
| Quadro 3.16. | Dados de entrada para análise da unidade armazenadora de Guaíra com os equipamentos em funcionamento e com a utilização de equipamentos eficientes.....                                      | 189 |
| Quadro 3.17. | Análise de vida útil para a unidade armazenadora de Ituverava.....   | 189 |
| Quadro 3.18. | Análise de vida útil para a unidade armazenadora de Guaíra.....  | 189 |
| Quadro 3.19. | Tensão medida nas cabines de comando e proteção 1 e 2 da unidade armazenadora de Ituverava.....  | 190 |
| Quadro 3.20. | Tensão medida na cabine de medição do circuito 1 da unidade armazenadora de Guaíra.....  | 190 |
| Quadro 3.21. | Fatores de redução de potência que devem ser adotados conforme o valor percentual do desequilíbrio das tensões da rede para motores trifásicos para a unidade armazenadora de Ituverava..... | 191 |
| Quadro 3.22. | Fatores de redução de potência que devem ser adotados conforme o valor percentual do desequilíbrio das tensões da rede para motores trifásicos para a unidade armazenadora de Guaíra.....    | 191 |
| Quadro 3.23. | Desequilíbrio de tensão e influência do desequilíbrio nas correntes de motores trifásicos de indução na unidade armazenadora de Ituverava.....   | 192 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Quadro 3.24. | Desequilíbrio de tensão e influência do desequilíbrio nas correntes de motores trifásicos de indução na unidade armazenadora de Guaíra.....   | 193 |
| Quadro 3.25. | Alteração da amplitude da tensão da rede na unidade armazenadora de Ituverava.....  | 194 |
| Quadro 3.26. | Efeito da alteração da amplitude da tensão da rede nos motores de indução trifásicos da unidade armazenadora de Guaíra.....   | 195 |
| Quadro 3.27. | Dados para realização da análise econômica de vida útil para condutores de alimentação de motores elétricos trifásicos.....   | 196 |
| Quadro 3.28. | Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores e a variação de preço entre os condutores de energia elétrica.....                              | 197 |
| Quadro 3.29. | Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do preço da tarifa de energia elétrica.....   | 197 |
| Quadro 3.30. | Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador..... | 198 |
| Quadro 3.31. | Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores e a variação de preço entre os condutores de energia elétrica.....                              | 199 |
| Quadro 3.32. | Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do preço da tarifa de energia elétrica.....   | 200 |
| Quadro 3.33. | Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador..... | 200 |
| Quadro 3.34. | Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores e a variação de preço entre os condutores de energia elétrica.....                              | 202 |
| Quadro 3.35. | Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do preço da tarifa de energia elétrica.....   | 203 |
| Quadro 3.36. | Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador..... | 204 |
| Quadro 4.1.  | Custos de referência para sistemas básicos de cogeração.....  | 219 |
| Quadro 4.2.  | Parâmetros de referência para sistemas básicos de cogeração.....  | 220 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Quadro 4.3.  | Dados para a análise técnica da cogeração em unidade armazenadora.....  | 233 |
| Quadro 4.4.  | Energia produzida pela queima da lenha no sistema de cogeração..  | 233 |
| Quadro 4.5.  | Custos, consumo e demanda de energia elétrica no ano de 2002....  | 233 |
| Quadro 4.6.  | Preço médio da energia elétrica para a unidade armazenadora de Ituverava no ano de 2002 e no ano de 2005.....                                   | 234 |
| Quadro 4.7.  | Ganho com a venda de excedentes da geração de energia.....  | 234 |
| Quadro 4.8.  | Investimento inicial necessário à implantação do sistema de cogeração.....  | 235 |
| Quadro 4.9.  | Dados de entrada para a análise econômica de vida útil.....   | 236 |
| Quadro 4.10. | Análise de vida útil para o sistema proposto, considerando-se adoção de floresta energética própria e a compra da lenha.....                    | 237 |
| Quadro 4.11. | Análise de vida útil para o sistema proposto, considerando-se a variação da tarifa elétrica em 25% a menos no preço adotado anteriormente.....  | 237 |
| Quadro 5.1.  | Relação entre um erro operacional do equipamento de 2,5% no teor de água e o desconto em uma carreta de milho de 30 toneladas.....              | 256 |
| Quadro 5.2.  | Relação entre um erro operacional do equipamento de 2,5% no teor de água e o desconto na operação de venda de 100.000 t de grãos.....           | 256 |
| Quadro 5.3.  | Relação da inclusão de impurezas em cascata nos grãos na comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos..... | 258 |

## LISTA DE FIGURAS

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Figura 2.1.  | Corte longitudinal de uma máquina de pré-limpeza.....  | 18  |
| Figura 2.2.  | Esquema das variações que ocorrem na secagem de uma camada fina de grãos, durante um intervalo de tempo, dt..... | 27  |
| Figura 2.3.  | Secador do tipo torre de fluxos mistos.....  | 35  |
| Figura 2.4.  | Representação da variação das propriedades termodinâmicas do ar durante o processo de secagem.....               | 43  |
| Figura 2.5.  | Regulagem das entradas de ar quente no secador.....  | 60  |
| Figura 2.6.  | Regulagem das entradas de ar quente e frio no secador.....   | 60  |
| Figura 2.7.  | Partes da lenha atingida pelo corte.....   | 62  |
| Figura 2.8.  | Localização dos termômetros nos secadores.....   | 66  |
| Figura 2.9.  | Tela de apresentação do programa computacional “Custo de secagem de grãos em secador tipo cascata”.....          | 70  |
| Figura 2.10. | Vista aérea da unidade armazenadora de Ituverava, SP.....  | 71  |
| Figura 2.11. | Fluxograma operacional da unidade de Ituverava, SP.....  | 74  |
| Figura 2.12. | Curva de secagem para o produto milho, em secador de fluxos mistos.....  | 98  |
| Figura 2.13. | Vista aérea da unidade armazenadora de Guaíra, SP.....   | 102 |
| Figura 2.14. | Fluxograma da unidade armazenadora de Guaíra, SP (primeira alternativa).....                                     | 105 |
| Figura 2.15. | Fluxograma da unidade armazenadora de Guaíra (segunda alternativa).....  | 106 |
| Figura 2.16. | Fluxograma da unidade armazenadora de Guaíra (terceira alternativa).....   | 107 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Figura 2.17. | Curva de secagem para o produto milho, em secador de fluxos mistos.....   | 132 |
| Figura 3.1.  | Consumo de energia elétrica por setores no Brasil.....  | 146 |
| Figura 3.2.  | Consumidores mais importantes do setor industrial.....  | 147 |
| Figura 3.3.  | Conversão de energia em um motor elétrico.....  | 148 |
| Figura 3.4.  | Estatôr de um motor elétrico.....   | 150 |
| Figura 3.5.  | Rotor bobinado ou de anéis de um motor elétrico.....  | 150 |
| Figura 3.6.  | Rotor em gaiola de um motor elétrico.....   | 150 |
| Figura 3.7.  | Placa com os dados nominais de um motor elétrico.....   | 154 |
| Figura 3.8.  | Curvas de conjugado versus velocidade.....  | 158 |
| Figura 3.9.  | Curva característica representativa de motor de potência inferior a 18,4 kW (25 cv).....                                  | 159 |
| Figura 3.10. | Curva característica representativa de motor de potência superior a 18,4 kW (25 cv). .....                                | 159 |
| Figura 3.11. | Rendimento nominal para motores de alto rendimento e tipo padrão, 4 pólos, categoria N.....                               | 160 |
| Figura 3.12. | Efeito do desequilíbrio da tensão nas correntes de um motor de indução trifásico.....                                     | 165 |
| Figura 3.13. | Curva do fator de redução para a potência disponível no eixo.....   | 166 |
| Figura 3.14. | Influência da variação da tensão no desempenho de um motor de indução trifásico.....                                      | 166 |
| Figura 4.1.  | Cogeração “bottoming” (a) e “topping” (b).....  | 218 |
| Figura 4.2.  | Diagrama temperatura versus entropia do ciclo Rankine.....  | 222 |
| Figura 4.3.  | Representação esquemática do diagrama de Mollier – eficiência da turbina a vapor no gráfico entalpia versus entropia..... | 224 |
| Figura 4.4.  | Relação potência versus eficiência de turbinas a vapor de simples estágio.....  | 226 |
| Figura 4.5.  | Relação potência versus eficiência de turbinas a vapor de multiestágios e condensação.....                                | 227 |
| Figura 4.6.  | Relação potência versus eficiência de turbinas a vapor de multiestágios e contrapressão.....                              | 227 |
| Figura 5.1.  | Análise fitopatológica para o produto soja.....   | 260 |
| Figura 5.2.  | Análise fitopatológica para o produto milho.....  | 261 |

## RESUMO

TEIXEIRA, Carlos Alberto, D. S., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2006.  
**Avaliação energética e de custo em unidades armazenadoras.** Orientador: Dely Oliveira Filho. Co-Orientadores: Adílio Flauzino de Lacerda Filho e José Helvecio Martins.

O setor agroindustrial tem um papel importante na economia brasileira. Em 2004, as exportações do agronegócio corresponderam a 40,4% da total exportação brasileira no período, totalizando US\$ 96,475 bilhões em 2004. A falta de investimentos no setor energético, que causou racionamento de energia elétrica por um período de um ano a partir de junho de 2001, aliadas à sazonalidade dos recursos necessários para geração de energia hidroelétrica, torna a racionalização do uso de energia elétrica uma ferramenta de apoio imprescindível ao crescimento sustentável do país. A utilização de energia elétrica nos diversos setores da economia é cerca de 49% (setor industrial), 24% (setor residencial), 12% (setor comercial), 12% (setor governamental) e 3% (setor rural). No setor industrial, o uso final de energia elétrica é distribuído da seguinte forma: cerca de 49% para força motriz, 32% para fornos, 10% para caldeira, 7% para eletrólise química e 2% para iluminação. Os motores elétricos representam cerca de 35% do consumo global de energia elétrica no país. São mais de 10 milhões de motores elétricos, em funcionamento. Dentre os vários setores produtivos da economia brasileira, as unidades armazenadoras de produtos agrícolas, atualmente, a capacidade de cerca de 100 milhões de toneladas de grãos armazenados, apresentam um grande potencial de economia de energia em suas instalações e processos. Neste trabalho, a

racionalização do uso de energia em unidades armazenadoras abrangeu: (i) avaliação de unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos; (ii) racionalização do uso de energia elétrica; (iii) soluções energéticas aplicadas a unidades armazenadoras; e (iv) análise técnica e energética da comercialização e qualidade de produtos agrícolas no Brasil. Neste estudo, demonstrou-se o grande potencial de economia de energia mecânica, térmica e elétrica existente nas unidades armazenadoras. Além disso, algumas soluções energéticas poderiam agregar preço à operação de secagem, bem como proposições de correção nas leis concernentes à comercialização e qualidade de produtos agrícolas trariam uma maior lisura nas operações e uma grande economia de energéticos para ao país.

## **ABSTRACT**

TEIXEIRA, Carlos Alberto, D. S., Universidade Federal de Viçosa, July 2005.  
**Cost and energy evaluations in grain elevator units.** Adviser: Delly Oliveira Filho. Co-Advisers: Adílio Flauzino de Lacerda Filho and José Helvecio Martins.

The agroindustry sector has an important role in Brazilian economy. In 2004, the exports of the agrobusiness corresponded to 40.4% of the total Brazilian export, as totaling US\$ 96.475 billion. The lack of investments in the energy sector, that caused electric power rationing for a period of one year from June 2001, associated to the seasonableness of the resources necessary to generation of hydroelectric energy, turns the rationalization of the electric power use an indispensable supporting tool to the sustainable growth of the country. The use of the electric power in several sectors is around 9% (industrial sector), 24% (residential sector), 12% (commercial sector), 12% (government sector) and 3% (rural sector). In the industrial sector, the final use of electric power is distributed as follows: about 49% for driving force, 32% for ovens, 10% for boiler, 7% for chemical electrolysis, and 2% for illumination. The electric motors represent about 35% of the total consumption of electric power in the country, since there are more than 10 million electric motors under operation. Among several productive sectors of the Brazilian economy, the storage units of agricultural products present a high economic potential in their facilities and processes, since they have actually about 100 million tons of stored grain capacity. In this work, the rationalization of the energy use in storage units included: (i) evaluation of storage units for pre-

processing grains; (ii) rationalization of the electric power use; (iii) energy solutions applied to storage units; and (iv) technical and energetic analysis of both commercialization and quality of agricultural products in Brazil. The high economic potential for the mechanical, thermal and electric energy in the storage units were shown in this study. Besides, some energy solutions could aggregate price to the drying operation, as well as the correction propositions in the laws concerning to the commercialization and quality of agricultural products would provide greater probity in the operation and a great energetic economy for the country.

## **Capítulo 1. INTRODUÇÃO GERAL**

As exportações provenientes do agronegócio, no ano de 2004, totalizaram um valor de US\$ 39,016 bilhões, um recorde histórico neste setor (BRASIL, 2004). Portanto, as exportações oriundas deste setor corresponderam a 40,4% do total das exportações brasileiras no período, cujo valor foi US\$ 96,475 bilhões. As importações apresentaram variação anual de 1,9%, totalizando US\$ 4,880 bilhões.

Na produção de grãos, a secagem de milho, por exemplo, é responsável por, aproximadamente, 50% do consumo total de energia (LOPES et al., 2000). Portanto, existe um grande potencial de economia de energia em unidades armazenadoras (LOPES et al., 2000; SILVA et al., 2000a). Em todas as etapas do processo de armazenamento existem procedimentos a serem adotados, que podem tornar o processo mais eficiente do ponto de vista técnico, econômico e fitossanitário.

A recepção dos grãos é um aspecto importante, pois, é quando se pode observar a qualidade inicial dos grãos, provenientes da lavoura para o pré-processamento e posterior armazenamento (FONSECA, 2000).

Não é prática rotineira a utilização de análises fitopatológicas para a identificação dos patógenos de campo e de armazenamento (GASGA, 1997). Com o conhecimento desses patógenos, várias fontes possíveis de contaminação da massa de grãos no processo de armazenamento como, por exemplo, a contra-prova da operação de classificação de grãos de algumas unidades armazenadoras, poderiam ser controladas, evitando-se, ainda, um gasto desnecessário de energia com transilagem e aeração, dentre outros. O processo de armazenamento não melhora a qualidade dos

grãos, mas a adoção de um manejo correto, possibilitará a conservação da qualidade inicial dos grãos. É nesta operação que acontece a classificação dos grãos, que consiste, basicamente, na determinação do teor de água e de impurezas (BRASIL, 1992).

Um problema técnico na determinação do teor de água é a utilização incorreta do medidor de água Universal nas unidades armazenadoras. De acordo com Bakker-Arkema et al. (1992), a faixa de utilização deste medidor abrange teores de água entre 11 a 16% b.u., pois, é nesta faixa que ocorre uma relação linear entre a resistividade elétrica e o teor de água. Vale lembrar, que no começo da safra, os grãos podem chegar na unidade armazenadora com teor de água acima de 20% b.u.. E ainda, como o funcionamento do aparelho envolve operação manual, está susceptível a erros humanos, o que pode resultar em prejuízos para os agricultores ou a unidade armazenadora.

Na seqüência das operações de um sistema convencional de armazenamento, está a operação de pré-limpeza. Esta operação é bem executada, quando as máquinas estão bem reguladas quanto à vazão de ar e diâmetro de furos das peneiras utilizadas. Basicamente, estes são os dois aspectos a serem observados na operação de pré-limpeza.

Na produção de grãos, a secagem, no caso específico do milho, pode representar até 50% do consumo total de energia (LOPES, R., 2002). Nesta operação, que envolve a utilização de uma fonte de calor, de transportadores, ventiladores e secadores, há utilização de energia térmica, mecânica e elétrica, simultaneamente.

Um dos problemas da utilização de fornalha a lenha é que aspectos técnicos de operação não são considerados. Outros aspectos relacionados à sua construção devem ser observados e corrigidos para obtenção de maior eficiência térmica, tais como a automação para controle da qualidade da combustão, envolvendo o controle de temperatura, de emissões de poluentes no ar e relação ótima de combustível e comburente, além da carga automática de combustível (LOPES, R., 2002).

A utilização de fornalhas sem o controle da temperatura de chama, da abertura correta das entradas de ar primário, da utilização correta do ciclone, da padronização do tamanho e do teor de água da lenha e vazão de ar do ventilador, resulta em: (i) não há queima total dos componentes voláteis da lenha e, conseqüentemente, ocorre emissão de gases nocivos ao meio ambiente, provenientes da combustão incompleta; (ii) ocorre maior consumo de lenha por tonelada de grão seco; e (iii) há aumento na demanda de mão-de-obra (LOPES et al., 2000).

Nas unidades armazenadoras de grãos, no Brasil, o secador mais utilizado é o de torre de fluxos mistos. Nestes secadores, vários fatores devem ser observados, a fim de

maximizar a eficiência da secagem, mantendo a qualidade dos grãos, tais como: (i) teor de água inicial dos grãos; (ii) temperatura e umidade relativa do ar ambiente; (iii) temperaturas na câmara de secagem, de resfriamento e exaustão; (iv) temperatura dos grãos na câmara de repouso; (v) temperatura do ar de secagem; (vi) tempo de residência do produto; e (vii) quantidade de água removida a cada passagem pela câmara de secagem (LACERDA FILHO et al., 1994). Por esta razão, há necessidade de modelar e analisar este secador (LIU et. al., 1997).

A operação de secagem com alta temperatura pode ser conduzida de dois modos: em lotes e contínua. Em ambos, a abertura ou fechamento de entradas de ar quente ou frio, a utilização parcial ou total da câmara de secagem do secador e o teor inicial de água dos grãos influenciarão a eficiência energética e econômica do processo.

Assim como a operação de pré-limpeza, na operação de limpeza, deve-se levar em consideração o tipo de grão, o teor e a característica da impureza, a vazão de ar e o número de peneiras utilizadas no processo. A operação de pré-limpeza, quando bem executada, proporcionará menor gasto na operação de secagem, não secando impurezas e, ainda, diminuindo o risco de incêndio no secador. A operação de limpeza, entretanto, possibilitará uma armazenagem mais segura, devido à menor quantidade de impurezas na massa de grãos.

No sistema de operação dos transportadores, fita transportadora, elevador de caçambas, transportador helicoidal e transportador de corrente, os seguintes parâmetros operacionais devem ser observados: (i) capacidade de funcionamento dos transportadores; (ii) equipamentos de proteção contra falta de energia elétrica; (iii) equipamentos que monitorem a qualidade da energia elétrica; (iv) critérios para a definição de uma potência mínima, para justificar a utilização do equipamento; (v) manejo (manutenção e operação) adequado das partes constituintes dos transportadores, ou seja, roletes, caçambas, correntes e ventilação dos motores elétricos; (vi) limpeza e desinfecção dos transportadores; e (vii) limpeza e desinfecção das tubulações aéreas e amortecedores de grãos, principalmente dos amortecedores de grãos das linhas de grãos úmidos (SILVA et al., 2000b).

Observa-se que, no dimensionamento tradicional dos transportadores, o enfoque dado ao uso racional da energia e à qualidade do produto transportado é, tecnicamente, correto, mas não é otimizado. Portanto, torna-se necessário a proposição de normas para certificação e dimensionamento de transportadores.

A substituição de motores do tipo convencional por outros de alto rendimento, bem como o aumento do número de horas de funcionamento anual podem apresentar taxas internas de retorno superiores a 60%, para situações em que o número de horas de funcionamento anual seja superior a 2000. Esses dados indicam o grande potencial de viabilidade técnica e econômica da racionalização do uso de energia elétrica, a partir da adequação de força motriz (CAMPANA, 2000; TEIXEIRA, 2002; LOPES, D., 2002).

Para a adequação de força motriz, é importante que a avaliação do índice de carregamento e do índice de rendimento do motor seja realizada em condição de carga efetiva. O índice de rendimento efetivo do motor elétrico pode ser avaliado, por meio de medição da corrente elétrica do estator. A determinação do índice de rendimento por meio da medição da corrente elétrica é a mais utilizada, em razão de ser um método mais simples. De posse dos dados da corrente elétrica do motor, trabalhando com a carga efetiva, bem como de seus dados de placa, determina-se o índice de carregamento (IC) por meio da curva característica de rendimento (WEG, 2000). Na determinação do índice de rendimento de motores elétricos, deve-se levar em consideração o desbalanceamento de tensões e o nível de tensão, o índice de distorção harmônica (IDH), número de vezes que o motor foi rebobinado, pois, estes parâmetros têm grande influência no índice de rendimento dos motores elétricos (ELETROBRÁS, 1998). Outros fatores a serem considerados são: (i) torques requisitados na partida; (ii) número de partidas por hora; (iii) caracterização do ambiente de trabalho; e (iv) tipo de proteção da carcaça do motor.

As principais opções para adequação do uso de força motriz são substituições de motores elétricos do tipo convencional ou padrão em funcionamento, a saber: (i) motor tipo padrão (PD), em uso, por motor novo de mesma potência de alto rendimento (AR); (ii) motor tipo padrão (PD), em uso, por motor novo de alto rendimento adequado à condição de carga (ARA); (iii) motor tipo padrão (PD), em uso, por motor tipo padrão adequado à condição de carga (PDA), em uso; e (iv) motor tipo padrão (PD) em uso, por motor novo de alto rendimento adequado à condição de carga, com o número de horas de funcionamento anual maximizado (ARA/h). Para cada situação, deve ser analisado os seguintes dados de entrada da análise econômica: número de horas de funcionamento anual, vida útil, taxa de juros, taxa de inflação no horizonte de planejamento, tarifa de energia elétrica, consumo e demanda, dentre outros (TEIXEIRA, 2002).

Devido à entrada conjunta da iluminação pública e dos chuveiros do sistema residencial, a curva de carga típica do sistema elétrico brasileiro apresenta a maior demanda de energia elétrica no horário compreendido entre 17 e 22 h. Com o objetivo de adequar a oferta de energia à solicitação de carga do sistema elétrico, foi concebida a estrutura tarifária horo-sazonal (tarifas azul e verde) de modo a compreender a sistemática de aplicação de tarifas a preços diferenciados, de acordo com o horário do dia (ponta e fora de ponta) e períodos do ano (úmido e seco). Esta estrutura tarifária tem, como objetivo, a prorrogação da necessidade de melhorar a infra-estrutura do sistema elétrico nacional que é formado por, aproximadamente, 96% por recursos hídricos (CEMIG, 1998).

O sistema tarifário em vigor no Brasil, aplicável a consumidores do grupo A, pode ser classificado em convencional e horo-sazonal. Os consumidores de energia elétrica, que se enquadram no sistema convencional de tarifas, podem ser taxados pelo consumo e demanda de energia elétrica.

A tarifa no horário de ponta é, aproximadamente, 200% mais cara que a tarifa no horário fora de ponta para demanda e cerca de 130% mais cara para o consumo na tarifa azul. A tarifa verde, no horário de ponta, sofre o referido acréscimo, apenas, para o consumo de energia elétrica e não para demanda (CEMIG, 1998). Denomina-se “demanda de ultrapassagem” à demanda de energia utilizada em excesso à demanda contratada. As concessionárias de energia elétrica taxam a tarifa de ultrapassagem em 300% do valor da tarifa do respectivo horário.

Os sistemas elétricos industriais possuem diversas cargas indutivas, como motores e outros equipamentos, que dependem de fluxo magnético alternado para sua operação. O acúmulo de cargas indutivas faz com que o fator de potência da instalação seja baixo. Sendo assim, é necessária a utilização de mecanismos de correção do fator de potência. Um fator de potência na faixa de 0,92 a 1,00 significa economia de energia elétrica, porque diminui as perdas e melhora a utilização da capacidade instalada de transformadores, sistemas de distribuição e geradores de energia elétrica (CREDER, 1995; CODI, 2000).

De acordo com a legislação vigente, instalações com fator de potência abaixo de 0,92 pagam multa sobre o valor total da conta de energia elétrica, com relação ao valor do fator de potência atual sem a devida correção. A correção do fator de potência pode ser feita de várias maneiras (CREDER, 1995; CODI, 2000) como, por exemplo, por meio de uma escolha correta do equipamento, pois, aqueles equipamentos que

trabalham próximo à sua potência nominal possuem melhor fator de potência, ou conectando um banco de capacitores em paralelo à carga.

Este trabalho foi estruturado em quatro capítulos, sendo eles: (i) avaliação de unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos; (ii) racionalização do uso de energia elétrica, em unidades armazenadoras; (iii) soluções energéticas aplicadas a unidades armazenadoras; e (iv) análise crítica da legislação concernente à comercialização e qualidade de produtos agrícolas no Brasil.

O primeiro capítulo trata da avaliação de unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos, envolvendo estudos de transportadores, máquinas de limpeza e pré-limpeza, secadores de grãos, fornalhas, ventiladores, custos e testes de secagem.

O segundo capítulo é sobre racionalização do uso de energia elétrica, em unidades armazenadoras. Estudou-se os motores elétricos, considerando-se, tipos diferentes, operação e características técnicas, tarifas de energia elétrica, adequação tarifária, qualidade da energia da concessionária de energia elétrica e outros.

O terceiro capítulo trata de soluções energéticas aplicadas a unidades armazenadoras. Este estudo consistiu em soluções energéticas, tais como, a cogeração e geração distribuída em unidades armazenadoras, com o objetivo de agregar preço e diversificar os produtos vendidos pelas unidades armazenadoras.

O último capítulo mostra a análise crítica da legislação concernente à comercialização e qualidade de produtos agrícolas no Brasil. Foi feita uma crítica a essa legislação, porque, no momento da fixação das regras para impor limites na quantidade de impurezas nos grãos, grãos não classificáveis, equipamentos para determinação do teor de água e outros, a legislação não considerou critérios de racionalização do uso de energia e conservação de fontes de energia.

Desta forma, as possíveis contribuições científicas deste trabalho foram:

- (i) introdução de conceitos de racionalização do uso de energia em unidades armazenadoras de grãos a granel; (ii) simulação de estudos de cogeração e geração distribuída para unidades armazenadoras, que utilizam lenha para queima em fornalhas;
- (iii) realização de avaliação energética e de custos em unidades armazenadoras de produtos a granel, considerando-se as condições de trabalho diária; e (iv) proposição de alteração na legislação de comercialização de grãos no Brasil. Estes estudos visaram melhorar a qualidade do produto destinado a alimentação humana da sociedade brasileira, a remuneração dos empresários envolvidos na cadeia de pré-processamento de grãos e as relações de compra e venda destes produtos no mercado.

## 1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **O agronegócio brasileiro**. Brasília (<http://www.agricultura.gov.br>), data da consulta: 15 jan. 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análises de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365p.

BAKKER-ARKEMA, F. W.; BROOK, R. C.; HALL, C. W. **Drying Cereal Grains**. Westport, AVI, 1992. 265.

CAMPANA, S. **Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô central e aspersão convencional**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Tarifas horosazonais - manual de orientação ao consumidor**. Rio de Janeiro: CEMIG, 1998. p. 5-9.

CODI – COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Energia reativa excedente**. Rio de Janeiro: CEMIG, 2000. 17p.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1995. 517p.

ELETROBRÁS - **Guia operacional de motores elétricos**. In: Programa de combate ao desperdício de energia elétrica – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 1998. v.1, 161p.

FONSECA, H. **Prevenção e controle de micotoxinas em produtos agrícolas**. Boletim técnico nº 7, 2000. p 1- 4.

GASGA - GRUPO DE ASSISTÊNCIA SOBRE SISTEMAS RELACIONADOS COM GRÃOS APÓS COLHEITA. **Micotoxinas em grãos**. Folheto técnico nº 3. Países Baixos. 1997. p 1-7.

LACERDA FILHO, A. F. de; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. C. **Avaliação do desempenho de um sistema de secagem, em fluxo contínuo, para milho da empresa CARAMURU ARMAZÉNS GERAIS**. CENTREINAR. Viçosa, MG, 1994. 86p.

LIU, Q.; CAO, C.; BAKKER-ARKEMA, F. W. **Modeling and analysis of mixed-flow grain dryer**. TRANSACTIONS of ASAE 40. 1997. (4): 1099-1106.

LOPES, D. de C. **Sistema computacional de análise técnica e econômica para adequação de força motriz**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2002. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

LOPES, R. P. **Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto de ar**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2002. 220p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

LOPES, R. P.; AFONSO, A. D. L.; SILVA, J. de S. Energia no pré-processamento de produtos agrícolas. In: SILVA, J. de S. e (Ed.). **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. p 191 - 217.

PROCEL - PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA, **Entendendo o motor de alto rendimento**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2000.

SILVA, J. de S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. Secagem e secadores. In: SILVA, J. de S. e (Ed.), **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000a. p 107 - 137.

SILVA, J. de S.; AFONSO, A. D. L.; VIEIRA, G. Secagem e secadores. In: SILVA, J. de S. e (Ed.), **Manuseio de grãos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000b. p 279 - 305.

TEIXEIRA, C. A. **Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2002. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

WEG. **Catálogo eletrônico de produtos**. (<http://www.weg.com.br>) Jaraguá do Sul, SC. Data da consulta: 2000.

## **Capítulo 2. AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E DE CUSTO EM UNIDADES ARMAZENADORAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO DE GRÃOS**

### **RESUMO**

O insumo energia representa cerca de 50% das despesas, no processo de secagem, nas unidades armazenadoras. Devido à escassez de recursos naturais e os constantes aumentos das tarifas públicas ou produtos a elas vinculados, tais como a energia elétrica, gás, água, lenha e as variações de preço do petróleo em nível mundial, fazem com que o uso racional da energia seja uma forma de elevar a competência administrativa das unidades armazenadoras, com a possível diminuição do consumo específico de energia de produtos agrícolas. A avaliação de unidades armazenadoras, proporciona, então, a visualização da composição dos custos de secagem, para posterior tomada de decisão no planejamento estratégico para o combate ao desperdício de energia e no aumento da eficiência do processo de produção. O presente trabalho foi realizado em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia (CAROL), Estado de São Paulo, nas cidades de Guaíra e Ituverava. A capacidade de secagem destas unidades corresponde a 140 e 120 t h<sup>-1</sup>, respectivamente. O estudo abrangeu: (i) as linhas de fluxo das unidades armazenadoras; (ii) a importância da separação das linhas de fluxos de grãos nas moegas de recepção; e (iii) o processo de secagem de milho em dois secadores do tipo torre de fluxos mistos de 60 t h<sup>-1</sup>, considerando-se a secagem em lotes. Foram monitorados a cada 30 minutos, no máximo, durante o processo de secagem: (a) temperatura na câmara de secagem,

resfriamento e exaustão; (b) temperatura do grão e ar na câmara de secagem; (c) temperatura e umidade do ar ambiente; (d) teor inicial e final de água do produto com determinadores de teor de água pelo método direto (Edabo) e indireto (Motonco e Universal); (e) temperatura de chama da fornalha; (f) vazão de ar; (g) tempo de secagem; (h) consumo de lenha na secagem de um lote; e (iv) avaliação do custo de secagem. Conclui-se que, em ambas as unidades armazenadoras, vários pontos estudados, como: (i) linhas de fluxo de produtos; (ii) separação das linhas de fluxo de produtos; (iii) comparação da temperatura dos grãos medida na câmara de secagem e os valores recomendados pela literatura técnica; e (iv) custo de secagem considerando o reaproveitamento do ar de exaustão no processo de secagem e não considerando a opção de reaproveitamento do ar de exaustão no processo de secagem, mostraram-se passíveis de melhorias técnicas, que depois de implementadas, representarão uma redução de custos substanciais para as unidades armazenadora em estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** racionalização do uso de energia, secador tipo torre de fluxos mistos, transportadores de grãos e motores elétricos.

## 2.1. INTRODUÇÃO

Nas unidades armazenadoras, com silos graneleiros, a operação de recepção e amostragem de grãos pode ser feita de vários modos. Normalmente, o produto proveniente da fazenda pode ser amostrado no caminhão por meio de caladores ou amostradores manuais, mecânicos, baldes e outros. De posse desta amostra, procede-se à classificação e determinação do teor de água do produto. O teor de água servirá para indicar em qual moega o produto deverá ser descarregado. Este é um ponto muito importante no processo de secagem, porque a divisão de linhas de fluxo seca ( $< 15\%$  b.u.) e úmida ( $\geq 15\%$  b.u.) garante uma maior homogeneidade da massa de grão na entrada do secador. Isto é fundamental para a diminuição de gastos com combustíveis no processo de secagem e desgaste de equipamentos, do tempo de secagem, da uniformidade dos grãos secados, que saem do secador e são destinados ao armazenamento, da migração de umidade mais uniforme e diminuição dos gastos com a operação de aeração. Estes fatores influenciam no sentido de manter a qualidade do produto durante as etapas de pré-processamento.

Na operação de unidades armazenadoras é imprescindível que o manejo do sistema de transporte e limpeza, seja adequado, pois, a falta de limpeza ou a limpeza inadequada pode ocasionar a contaminação da massa de grãos.

São fatores importantes na operação de limpeza: o tipo de grão, o teor e a característica da impureza, a vazão de ar e o número de peneiras nas máquinas. A operação de pré-limpeza, quando bem executada, pode proporcionar um menor gasto financeiro na operação de secagem, devido à remoção anterior das impurezas, além da

redução do risco de incêndio no secador. A operação de limpeza possibilitará também uma armazenagem mais segura, devido a menor quantidade de impurezas na massa de grãos armazenados. Em ambas operações, se as máquinas não forem desinfetadas e limpas diariamente, poderá ocorrer contaminação de toda a massa de grãos. Dependendo da intensidade desta contaminação, a massa de grãos poderá tornar-se imprópria para consumo humano e perderá, substancialmente, seu valor nutricional e comercial.

Na operação dos transportadores, tais como a fita transportadora, elevador de caçambas, transportador helicoidal e transportador de corrente, alguns parâmetros devem ser observados: (i) capacidade de funcionamento dos transportadores; (ii) equipamentos de proteção contra falta de energia elétrica e de monitoramento da qualidade da energia elétrica; (iii) critérios para a definição de uma potência mínima a fim de justificar a utilização do equipamento; (iv) manejo (manutenção e operação) adequado das partes constituintes dos transportadores, roletes, caçambas, correntes e sistema de ventilação dos motores elétricos; e (v) limpeza e desinfecção dos transportadores, e das tubulações aéreas e amortecedores de grãos, principalmente aqueles das linhas de grãos úmidos que, com o acúmulo de grãos no amortecedor, podem apodrecer com o passar do tempo, devido ao elevado teor de água.

## **2.2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.2.1. Conceitos e características de unidades armazenadoras**

No Brasil as unidades armazenadoras podem ser caracterizadas de acordo com sua função em: nível de fazenda, coletora, intermediária ou terminal.

As unidades em nível de fazenda devem ser projetadas para trabalhar com grãos úmidos e sujos, bem como possuir capacidade de movimentação de grãos, secagem e armazenagem para suprir a produção da propriedade.

As unidades coletoras são aquelas projetadas para processar grãos úmidos e sujos, ou secos e sujos e, ou limpos, possuindo uma alta capacidade de movimentação de grãos, de secagem e armazenagem, suprindo a recepção de grãos em uma área de raio igual a 100 km da unidade.

As unidades armazenadoras intermediárias devem ser projetadas para trabalhar com produto seco e limpo. Possuem baixa capacidade de secagem, alta capacidade de movimentação de grãos e alta capacidade estática de armazenagem, tendo, como área de atuação, um raio de 600 km das unidades coletoras.

As unidades terminais podem ser portuárias ou industriais e devem ser dimensionadas para receber produto seco. Possuem baixa capacidade de secagem, alta capacidade de movimentação de grãos e média capacidade estática de armazenagem e encontram-se próximos aos centros consumidores.

### **2.2.2. Operações unitárias em pré-processamento de grãos**

As operações unitárias em pré-processamento compreendem as etapas de recebimento, pré-limpeza, transporte, sistemas de secagem, limpeza, armazenagem e expedição, avaliação do sistema de secagem e qualidade dos grãos.

#### **Recebimento**

A operação de recebimento nas unidades armazenadoras, normalmente, é constituída pelas etapas de amostragem, medição do teor de água, impurezas, classificação do produto, pesagem e descarga dos grãos.

#### **Amostragem e análises laboratoriais**

A avaliação e a apresentação de um laudo sobre uma análise laboratorial da qualidade de grãos baseia-se nas seguintes atividades: (i) retirada representativa do lote a ser analisado; (ii) metodologia laboratorial apropriada ou segundo padrões oficiais, apresentação e interpretação de resultados, quando for o caso; e (iii) preparação da amostra para análise. Os equipamentos recomendados são os caladores mecânicos e amostradores pneumáticos.

Geralmente, a comercialização de grãos é feita de três maneiras distintas, segundo os sistemas de transportes e embalagens, devido a isto, deve-se estabelecer o método de retirada de amostras.

No caso da amostragem de cargas em sacaria, é recomendável que as amostras sejam ao acaso de, pelo menos, 10% dos sacos de um lote, sendo que de cada saco deverá ser retirados no mínimo, 30 gramas de produto. Caso o número de sacos seja inferior a 20, todos os sacos deveram ser amostrados.

Na amostragem de cargas a granel em vagões e caminhões, entretanto, dependendo do tamanho, deve-se retirar, aleatoriamente, no mínimo cinco amostras em diferentes pontos, podendo ser retiradas duas em cada extremidade e uma no centro, utilizando-se um coletor de amostras próprio para o material a granel, caladores, por exemplo.

Para formação da amostra, necessita-se utilizar um divisor e homogeneizador de amostras. Em seguida, é feita a amostragem simples, e a partir das amostras simples são feitas as amostras compostas. Após a homogeneização das amostras compostas é retirada a amostra simples de trabalho (SILVA et al., 2000a).

## **Medição do teor de água**

Segundo Silva (2000), existem dois grupos de métodos para determinação do teor de água em produtos agrícolas: os diretos - estufa, destilação, evaporação e radiação infravermelha e indiretos – resistência elétrica e capacitância. Os métodos indiretos requerem calibração, por meio de um método-padrão de estufa ou outro direto.

Nos métodos diretos, a massa de água a ser extraída do produto é relacionada à sua matéria seca para obtenção da umidade em base seca, ou à massa total do produto para obtenção da umidade em base úmida. Usualmente, são utilizados em análises de laboratório e controle de qualidade.

Em todos os métodos diretos, há procedimentos como a massa da amostra, temperatura dos grãos, e o tempo de residência do produto no equipamento, que deverão ser seguidos para determinação do teor de água.

Mesmo nos métodos diretos existem algumas fontes de erro devido a: (i) secagem incompleta dos grãos; (ii) oxidação do material; (iii) problemas nos equipamentos de medição; (iv) erros de amostragem; (v) erros de pesagem; e (vi) erros de observação.

Nos métodos indiretos, as propriedades físicas dos grãos são correlacionadas com variáveis elétricas para determinação do teor de água. Em razão da rapidez na determinação do teor de água, esses determinadores são utilizados no controle da secagem, armazenagem e em transações comerciais. O teor de água é fornecido em base úmida, relação entre a massa de água e a massa total de produto.

Os principais métodos indiretos de determinação são o da resistência elétrica e o dielétrico. Para determinação do teor de água, deve-se observar todas as correções, recomendações e calibrações exigidas pelo fabricante do equipamento.

Para erros sistemáticos  $\geq$  a 0,5 ponto percentual, recomenda-se a aferição e calibração desses determinadores de teor de água.

## **Umidade de equilíbrio**

A umidade de equilíbrio está ligada ao processo de secagem e armazenagem de produtos agrícolas, fornecendo informações sobre o ganho ou perda de água do produto nestes processos, em função das condições de temperatura e umidade relativa do ar. Quando a razão da perda de água do produto para o ambiente é igual à razão do ganho de água, o produto está em equilíbrio com o ar ambiente. O teor de água do produto, quando em equilíbrio com o ambiente, é denominado como umidade de equilíbrio ou

equilíbrio higroscópico. Esta umidade é aquela observada, após os grãos serem expostos, durante período de tempo prolongado, a uma determinada condição ambiental. A umidade de equilíbrio dos grãos é dependente da temperatura e umidade relativa do ar, das condições físicas dos grãos e da direção à qual ocorre a transferência de massa entre os grãos e o ambiente.

A relação entre teor de água de um produto e a correspondente umidade de equilíbrio, para uma determinada temperatura, pode ser representada por isotermas de equilíbrio. Devido ao fenômeno de histerese, os valores do teor de água de equilíbrio são diferentes, quando ganham ou perdem água. A velocidade de dessecção de água do produto é muito mais rápida do que a adsorção de água do produto, provocando, assim, a histerese entre a curva de secagem e o reumedecimento do produto.

As isotermas de equilíbrio podem ser dadas pela equação

$$1 - UR = e^{(-c(1,8T + 32)) (U_e)^n} \quad (2.1)$$

em que

- UR = umidade relativa do ar, decimal;
- e = base do logaritmo neperiano, 2,718, decimal;
- T = temperatura absoluta, °C;
- U<sub>e</sub> = umidade de equilíbrio, decimal, b.s.; e
- c, n = constantes dependentes do material.

As constantes c e n são apresentadas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1. Constantes das isotermas de equilíbrio para alguns produtos

| Produto | c                        | n    |
|---------|--------------------------|------|
| Milho   | 1,98 x 10 <sup>-5</sup>  | 1,90 |
| Sorgo   | 6,12 x 10 <sup>-6</sup>  | 2,31 |
| Soja    | 5,76 x 10 <sup>-5</sup>  | 1,52 |
| Trigo   | 10,06 x 10 <sup>-7</sup> | 3,03 |

Os valores da umidade de equilíbrio, para milho e soja, podem ser estimados por meio das equações 2.2 e 2.3; 2.4 e 2.5, respectivamente.

$$U_e = \frac{7,4776 UR^{0,4584}}{\ln(1,8T + 32)}, \quad \text{para } 0 < UR \leq 52\% \quad (2.2)$$

$$U_e = \frac{21,2198 \exp(0,0146 UR)}{\ln(1,8T + 32)}, \quad \text{para } 52 < UR < 100\% \quad (2.3)$$

$$U_e = \frac{3,96 UR^{0,492}}{\ln(1,8 T + 32)}, \quad \text{para } 0 < UR \leq 55\% \quad (2.4)$$

$$U_e = \frac{6,21 \exp(0,0274 UR)}{\ln(1,8 T + 32)}, \quad \text{para } 55 < UR < 100\% \quad (2.5)$$

em que

- $U_e$  = unidade de equilíbrio do produto, % b.u.;  
 $UR$  = umidade relativa do ar, % ; e  
 $T$  = temperatura do grão, °C.

### **Pesagem da massa de grãos em unidades armazenadoras**

A pesagem da massa de grãos em unidades armazenadoras é feita em balanças rodoviárias e, ou ferroviárias. São registradas informações da tara do veículo, peso total, peso líquido, identificação do veículo, nome do proprietário da carga, produto transportado, horário de entrada e saída do veículo. Nessas balanças, é possível conseguir leituras com precisão de 1 kg para uma carga máxima de até 50 toneladas ou mais.

### **Descarga de produtos agrícolas em unidades armazenadoras**

A descarga de grãos nas unidades armazenadoras pode ser feita por meio das bicas de saídas na caçamba do caminhão ou por tombadores de caçambas de caminhões, sendo que, em ambas as operações, a massa de grãos é retirada dos caminhões por gravidade.

#### **2.2.3. Pré-limpeza**

Segundo Weber (1995), devido ao fato de as máquinas colhedoras não separarem com eficiência as impurezas dos grãos colhidos no campo, é necessário que se utilizem máquinas estáticas nas unidades armazenadoras. A operação de pré-limpeza da massa de grãos é importante devido à redução da massa de impurezas. Esta redução do teor de impurezas está relacionada a: (i) aumento da capacidade de secagem de secadores e transportadores de grãos; (ii) retirada de materiais estranhos da massa de grãos, antes da entrada no secador; e (iii) diminuição do risco de incêndio em secadores.

As máquinas de pré-limpeza são aquelas que, normalmente antecedem a operação de secagem e possuem apenas uma ventilação, bem como uma área e número

de peneiras menor em relação à máquina de limpeza, que é normalmente encontrada após o secador e possui duas ventilações (WEBER, 1995).

A capacidade de limpeza das máquinas está diretamente relacionada ao teor de água e ao teor de impurezas dos grãos e do tipo de grão. A capacidade nominal das máquinas é referente à capacidade de limpeza ou pré-limpeza na entrada da máquina. O princípio de funcionamento das máquinas de separação de impurezas é dado por fluxo de ar e peneiras. A separação feita por meio de ventilação é baseada na diferença de massa específica entre a impureza e os grãos; devido a isto, é importante que se trabalhe com a capacidade nominal das máquinas. A separação feita por peneiras considera a diferença de dimensões dos produtos em beneficiamento e impurezas. As peneiras possuem padrões de perfurações diversas para diversos produtos e têm, como função, limpar, classificar, separar meios grãos, grãos inteiros e impurezas. A Figura 2.1 apresenta um corte longitudinal de uma máquina de pré-limpeza, explicitando assim, seus componentes.

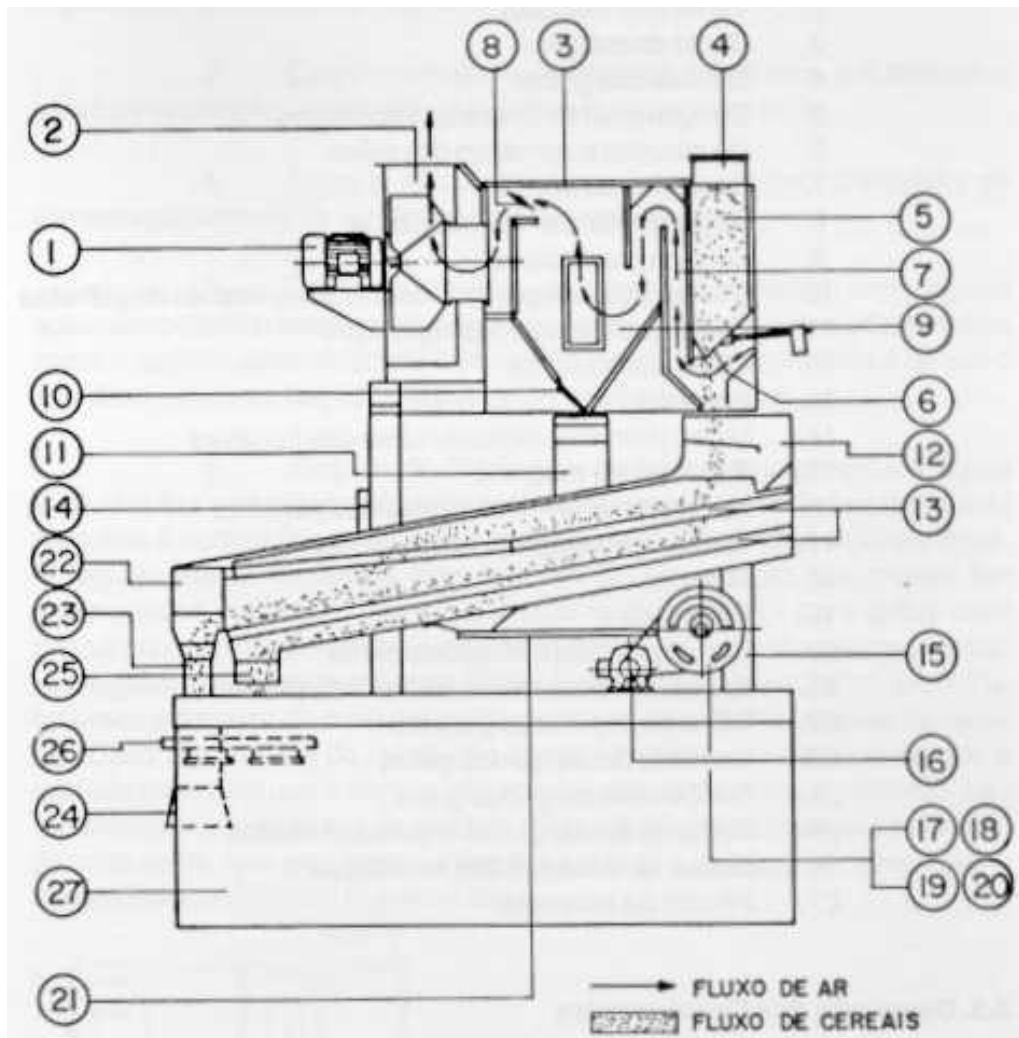


Figura 2.1. Corte longitudinal de uma máquina de pré-limpeza.

De acordo com a Figura 2.1, os componentes de uma máquina de limpeza são: (1) motor do ventilador; (2) ventilador exaustor; (3) corpo da máquina; (4) entrada do cereal; (5) canal de entrada; (6) registro de distribuição de grãos; (7) canal de aspiração do ar; (8) válvula de ar; (9) câmara gravitacional; (10) registro de palhetas; (11) calha de impurezas; (12) caixa de peneiras; (13) peneiras; (14) molas; (15) estrutura; (16) acionamento; (17) eixo; (18) mancais; (19) excêntrico; (20) contrapeso; (21) bielas; (22) calha de descarga de impurezas graúdas retiradas pela primeira peneira; (23) calha de descarga de grãos limpos; (24) funil de descarga de grãos; (25) calha de descarga de impurezas finas, que passaram através das duas peneiras; (26) calha de coleta e banco de ensaque de impurezas; e (27) pilares de concreto – sustentação.

A capacidade de limpeza ou pré-limpeza de uma máquina está relacionada aos seguintes fatores: (a) sistema de ventilação da máquina; (b) área total de peneiras, que representa a soma dos furos das peneiras; (c) velocidade do movimento da caixa de peneiras, em oscilações por minuto. Uma pequena variação no número de oscilações não representa alteração significativa no desempenho da máquina, como acontece com o ângulo da peneira; (d) o ângulo de inclinação é um fator decisivo, sendo que qualquer aumento de poucos graus representa um aumento grande de velocidade da passagem dos grãos sobre a peneira. Um aumento da inclinação aumenta a capacidade de limpeza, mas pode prejudicar a qualidade da mesma.

Em relação às máquinas de limpeza, elas são semelhantes à máquina de pré-limpeza, com a diferença que as máquinas de limpeza fazem um trabalho melhor, por haver aspiração dupla e um maior número de jogos de peneiras. A bitola do último jogo de peneiras aproxima-se das dimensões dos grãos, proporcionando uma limpeza de melhor qualidade. A máquina de limpeza retira impurezas da massa de grãos tais como cascas, terra, pó do próprio produto e sementes de ervas silvestres e, ou daninhas.

#### **2.2.4. Transportadores de grãos**

Os transportadores movimentam material a granel, pulverulento e em sacaria, tanto na posição horizontal quanto vertical e em planos inclinados. Dentre os diversos usos dos transportadores, pode-se citar a retirada de produto das moegas, alimentação de silos armazenadores e pulmão, máquinas de limpeza e pré-limpeza e descarga de silos.

O conhecimento sobre as características dos transportadores torna-se de suma importância, pois, possibilita determinar o equipamento mais indicado para cada situação.

Segundo KEPLER (1975), a perfeita escolha de transportadores está condicionada a fatores, tais como a capacidade dos transportadores, a forma do produto a ser transportado, a friabilidade e a massa específica do produto, o tamanho do material, o plano de transporte (horizontal, inclinado ou vertical), as condições de trabalho (temperatura e umidade relativa), a distância a ser coberta pelo transportador, o espaço disponível para o transportador e a configuração do terreno.

Segundo Calibras (2005), os principais tipos de transportadores são: (i) elevadores de caçambas; (ii) transportadores de corrente; (iii) transportadores helicoidais; e (iv) fitas transportadoras.

### **Elevadores de caçambas**

A capacidade de transporte de um elevador de caçambas é função da velocidade da correia e das dimensões e espaçamento entre as caçambas. Embora o enchimento das caçambas normalmente ocorra pelo lado da subida da correia, em algumas situações específicas, poderá ocorrer pela perna de descida da correia, o que não é recomendável, pois, neste caso, há uma demanda de potência maior e um maior desgaste das caçambas e correia. O sistema de captação de pó é necessário a um elevador de caçambas, sendo sua instalação recomendada por razões de segurança, especialmente, para materiais pulverulentos.

### **Transportadores de corrente**

São muito utilizados, mas, segundo alguns autores, estes transportadores de corrente são os que mais danificam produtos agrícolas durante a operação.

Em geral, funcionam em baixa velocidade, de tal forma que a corrente arrasta o produto e mantém a limpeza do fundo da caixa do transportador. Basicamente, um transportador de corrente move-se em uma superfície, arrastando o material.

Quanto ao número, as correntes são classificadas em: (i) corrente simples; e (ii) corrente dupla.

As principais características do transportador de corrente são: (i) normalmente é ruidoso, principalmente em comparação com o transportador de correia; (ii) tem baixa eficiência mecânica; (iii) possibilita o transporte de materiais diversos; (iv) trabalha em baixa velocidade, conseqüentemente a capacidade de transporte é baixa, comparativamente às fitas transportadoras; (v) permite a carga e descarga em diversos pontos, ao longo do transportador, por meio de escovas ou aberturas na superfície

rígida; e (v) permite operar com inclinação maior que aquela dos transportadores de correia, porém, ainda limitada a 40°, aproximadamente.

### **Transportador helicoidal**

Os transportadores helicoidais também denominados de rosca sem fim, são indicados para movimentação dos mais variados tipos de materiais, tais como grãos, farelos e outros tipos de matérias-primas.

Devido à sua durabilidade, resistência e praticidade, os transportadores helicoidais são uma das opções de transporte de grãos mais adotadas.

Confeccionado normalmente em módulos, este tipo de transportador apresenta grande flexibilidade quanto ao posicionamento de bocas de descarga e de pontos de abastecimento.

Os transportadores helicoidais funcionam com velocidades entre 200 e 800 rpm e são indicados para produtos leves e menos susceptíveis à quebra.

### **Fita transportadora**

As fitas ou correias transportadoras têm ampla utilização no transporte de minérios e cereais.

As principais vantagens deste sistema são: (a) menor dano ao produto transportado a longas distâncias; (b) adaptabilidade ao perfil de transporte de produtos agrícolas; (c) grande capacidade de transporte; (d) aceita grande variedade de materiais granulados; (e) movimento silencioso e suave; (f) exige pouca manutenção; (g) descarrega em qualquer ponto da trajetória; (h) pode trabalhar nos dois sentidos; e (i) pode ser usado nos dois ramais, simultaneamente.

Os transportadores de fitas são constituídos de calha de carga, roletes superiores nos perfis em “V”, carro de carga ou alimentadora, descarregador de percurso, também chamado de “tripper”, acionamento, rolo-mestre, sistema de tensores automáticos, roletes inferiores, rolos inferiores no perfil plano, correia, estrutura e guias laterais da correia.

O sistema de tensionamento das correias pode ser constituído de parafusos na extremidade, tensor horizontal de carro e contrapeso e tensor vertical de contrapeso. O posicionamento de serviço pode ser horizontal, ou com inclinação máxima de 20°.

Os ramais do transportador dividem-se em superior e inferior. No ramal superior, a estrutura pode ser plana ou em "V", com 2 rolos, 3 rolos ou mais de 3 rolos,

por metro. No ramo inferior, a estrutura pode ser plana ou em "V", com 2 rolos ou 3 rolos por metro. A correia deve ter flexibilidade, bem como absorver e resistir a tensões e à corrosão (KEPLER, 1975).

Para melhor funcionamento do sistema, alguns cuidados devem ser adotados: (i) as inclinações dos roletes, devem variar entre 5 e 10°; (ii) o espaçamento entre roletes é função da massa específica do material, da carga por unidade de comprimento e da catenária permitida; (iii) a catenária permitida entre roletes é, normalmente, de 2 a 3 %; (iv) para produtos agrícolas, em geral, o espaçamento entre roletes é de 1 a 1,6 m, no ramo de carga, e de 3 m no ramo de retorno; (v) a inclinação do transportador é função do tamanho, forma e fluidez das partículas e ângulo de repouso. Para partículas com características semelhantes àquelas dos grãos agrícolas secos e limpos, esta inclinação varia até o máximo de 20°; (vi) a velocidade de deslocamento da fita depende das características do material, da largura da fita e do ângulo de inclinação do transportador. Normalmente, as fitas com largura entre 0,4 e 1,5 m, transportando farelos e grãos, podem trabalhar com velocidade máxima de 90 e 240 m min<sup>-1</sup>, respectivamente; e (vii) a largura da fita pode ser dimensionada, em função do ângulo de sobrecarga, volume transportado na unidade de tempo, área da seção transversal e velocidade máxima admissível (LACERDA FILHO et al., 1994).

O Quadro 2.2 mostra a classificação e aplicabilidade dos transportadores contínuos mais utilizados durante o pré-processamento de grãos (KEPLER, 1975).

Quadro 2.2. Classificação e aplicabilidade dos transportadores

| Transportador            | Grãos     |          |       | Capacidade |       |       | Distância |       |       | Custo |       |       | Plano de transporte |           |          | Espaço disponível |       |         | Poluição |       |       | Potência |       |       |
|--------------------------|-----------|----------|-------|------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-----------|----------|-------------------|-------|---------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
|                          | Comercial | Sementes | Sacos | Alta       | Média | Baixa | Alta      | Média | Curta | Alto  | Médio | Baixo | Horizontal          | Inclinado | Vertical | Grande            | Médio | Pequeno | Alta     | Média | Baixa | Alta     | Média | Baixa |
| Correia                  | x         | x        | x     | x          | x     | x     | x         | x     |       |       | x     |       | x                   | x         |          | x                 | x     |         | x        | x     |       |          | x     | x     |
| De corrente, tipo redler | x         |          |       | x          | x     | x     |           | x     |       |       | x     | x     | x                   | x         |          |                   |       | x       |          | x     | x     | x        |       |       |
| Transportador helicoidal | x         |          |       |            | x     | x     |           |       | x     |       | x     |       | x                   | x         | x        |                   |       | x       |          |       | x     |          | x     | x     |
| Elevador de caçambas     | x         | x        |       | x          | x     |       |           | x     | x     | x     | x     |       |                     | x         | x        |                   |       | x       |          |       | x     |          |       | x     |

Fonte: (KEPLER, 1975; com adaptações).

De acordo com o Quadro 2.2 pode-se verificar a aplicabilidade e o desempenho para cada um dos transportadores, quanto ao tipo de grão, capacidade de transporte,

distância de transporte, custo, plano de transporte, espaço disponível para instalação do equipamento, emissão de poluentes e potência demandada, para tomada de decisão no momento da aquisição de transportadores de produtos agrícolas.

Observou-se que, no dimensionamento desses equipamentos, existem algumas constantes representando valores para ajuste das equações. A obtenção matemática dos valores dessas constantes é importante, para que haja a verificação da existência ou não de coeficientes de segurança embutidos nessas equações, evitando-se, assim, o superdimensionamento da motorização desses equipamentos.

### **2.2.5. Sistemas de secagem**

A secagem é um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar. É uma das etapas de pré-processamento dos produtos agrícolas, cuja finalidade é retirar parte da água neles contida (SILVA et al., 2000).

A importância da secagem é devido a: (i) antecipação do período de colheita e novo plantio no mesmo terreno; (ii) minimização das perdas de campo; (iii) armazenagem por períodos prolongados, com menor risco de deterioração do produto; (iv) possibilidade de manter o poder germinativo do produto, durante longo período de tempo; (v) preservação da qualidade de uma extensa gama de produtos agrícolas a custos viáveis economicamente; e (vi) impedimento do desenvolvimento de microrganismos e insetos.

Durante a secagem, a água do produto é retirada pela movimentação da água, decorrente de uma diferença de pressão de vapor de água entre a superfície do produto a ser secado e o ar que o envolve. A condição para que o produto seja submetido ao processo de secagem é que a pressão de vapor sobre a superfície do produto ( $P_g$ ) seja maior que a pressão de vapor de água no ar de secagem ( $P_{ar}$ ). Desta forma, se (i)  $P_g > P_{ar}$  então ocorrerá a secagem do produto; (ii)  $P_g < P_{ar}$  então ocorrerá o umedecimento do produto; e (iii)  $P_g = P_{ar}$  então ocorrerá o equilíbrio higroscópico.

No processo de secagem, o tempo total para retirada da água de um produto é influenciado por: (i) temperatura de secagem; (ii) vazão de ar de secagem; (iii) tempo de residência do produto no secador; e (iv) teor de água inicial e final do produto.

## Modelos de simulação de secagem

Os modelos de simulação de secagem são ferramentas essenciais para o dimensionamento otimizado de secadores de produtos agrícolas.

O modelo de Hukill foi um dos primeiros a ser empregado em processos de secagem, em camada espessa. O modelo baseia-se numa equação, que prevê o teor de água do produto conforme a altura da camada de grãos e o tempo de secagem. O modelo despreza o calor sensível dos grãos e admite que a temperatura do ar decresce, exponencialmente, à medida que o ar vai passando pela massa de grãos (HUKILL, 1974).

O modelo de Thompson e colaboradores foi apresentado em 1968, para simulação de secagem de milho em secadores contínuos, utilizando como artifício, a divisão do processo de secagem em vários subprocessos (THOMPSON, 1968).

O modelo de simulação do processo de secagem de Michigan pode ser utilizado para simular a secagem em secadores do tipo camada fixa, fluxos cruzados, fluxos concorrentes e fluxos contracorrentes. Ele foi desenvolvido, especificamente, para simular a secagem de milho, mas pode ser aplicado para outros tipos de grãos. É composto por balanços de energia e de massa, que são escritos para um volume diferencial ( $A dx$ ), para uma posição arbitrária da camada de grãos. No desenvolvimento deste modelo foram utilizadas algumas suposições, a fim de facilitar a representação do processo real (BAKKER-ARKEMA et al., 1978).

Vários autores têm simulado o mecanismo de escoamento de água no interior de meios higroscópico-capilar-porosos, tais como grãos de cereais. Têm considerado a difusão, em seus diferentes aspectos, como sendo o mecanismo básico do processo de secagem. Normalmente, consideram a força atuante como sendo o gradiente de concentração de umidade ou o gradiente de pressão de vapor.

Segundo MARTINS (1982), a equação de difusão líquida, ou segunda lei de Fick pode ser dada pela equação

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} = D_1 \nabla^2 C_1 \quad (2.6)$$

em que

- $C_1$  = concentração líquida,  $\text{kg.m}^{-3}$ ;
- $D_1$  = coeficiente de difusão líquida,  $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ;
- $\partial t$  = tempo, s; e
- $\nabla^2$  = operador laplaciano.

O operador laplaciano pode assumir diferentes valores, conforme a geometria em estudo.

Quadro 2.3. Operador laplaciano para diferentes geometrias

| Tipo               | Variáveis | $\nabla^2$   |
|--------------------|-----------|--|
| Linear             | x         | $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$  |
| Esférica           | r         | $\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \left(\frac{2}{r}\right)\left(\frac{\partial}{\partial r}\right)$                                   |
| Cilíndrica (axial) | r         | $\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \left(\frac{1}{r}\right)\left(\frac{\partial}{\partial r}\right)$                                   |
| Disco <sup>a</sup> | r, z      | $\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \left(\frac{1}{r}\right)\left(\frac{\partial}{\partial r}\right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ |
| Banda <sup>b</sup> | x, z      | $\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  |

<sup>a</sup>r = distância radial, m; z = distância normal

<sup>b</sup>x = distância no plano da banda, m; z = distância normal a superfície da banda, m.

Para o caso do gradiente de vapor, a equação de difusão pode ser descrita pela equação

$$\frac{\partial P_v}{\partial t} = D_v \nabla^2 C_v \quad (2.7)$$

em que

$P_v$  = pressão de vapor, N.m<sup>-2</sup>; e

$D_v$  = coeficiente de difusão de vapor (permeabilidade), m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>.

De acordo com o Quadro 2.3, o operador laplaciano em uma análise do tipo linear considerará, somente, a variável x e o operador terá o valor  $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ . De posse deste valor, entra-se na Equação 2.6 ou 2.7.

Os coeficientes de difusão, nas equações 2.6 e 2.7, têm sido considerados constantes. Entretanto, alguns pesquisadores observaram discrepâncias entre os valores teóricos e experimentais, na fase final do período de secagem de razão decrescente e concluíram que tais coeficientes não poderiam ser considerados constantes, nessa etapa da secagem.

Outro problema para a solução das equações 2.6 e 2.7 é a suposição que o sistema tem volume fixo. Os materiais biológicos, especialmente os grãos, apresentam uma redução de volume proporcional ao volume de água evaporada durante a secagem, o que contribui para os desvios observados entre os dados experimentais e teóricos.

Várias equações de secagem empírica têm sido propostas para os grãos de cereais, segundo alguns autores.

As equações empíricas ou semiteóricas, muitas vezes, não representam precisamente o processo de secagem.

Thompson desenvolveu, para o milho, um modelo de secagem em camada fina, para o intervalo de temperatura de 59,9 a 148,9 °C.

Morey e Peart, citados por MARTINS (1982), utilizaram o modelo de THOMPSON et al., para camada espessa e delgada, respectivamente, na simulação matemática, visando à otimização de um sistema de secagem de milho com ar natural, na faixa de temperatura de 2,2 a 21,1 °C e umidade relativa de 22 a 80%.

### **Modelagem matemática**

THOMPSON et. al. (1968) apresentaram um modelo para simulação de secagem de milho em secadores contínuos. Esse modelo, considerado semi-empírico, simula o processo por meio de um conjunto de equações, baseadas nas leis de transferência de energia e massa, e de uma equação empírica de secagem em camada delgada.

No desenvolvimento do modelo apresentado por THOMPSON et al. (1968) foi utilizada, como artifício, a divisão do processo de secagem em vários subprocessos. O leito de grãos foi considerado como formado de várias camadas de espessura reduzida, colocadas umas sobre as outras. As variações nas condições do ar e do grão, em cada camada, foram calculadas com base em pequenos incrementos de tempo.

A Figura 2.2 apresenta um esquema com as variações consideradas na simulação de secagem de uma camada de espessura reduzida, que compõe um leito de grãos. Quando o ar passa pela camada fina, durante determinado intervalo de tempo, certa quantidade de água do produto é evaporada, passando para o ar. Nesse intervalo, a temperatura do ar diminui, em consequência do aumento de temperatura dos grãos e do resfriamento evaporativo que acompanha a transferência de umidade. A quantidade de água perdida pelo produto é calculada por meio de uma equação empírica de secagem em camada delgada. As temperaturas finais do ar e grão, consistentes com o resfriamento evaporativo, são obtidas por meio de balanços de energia.

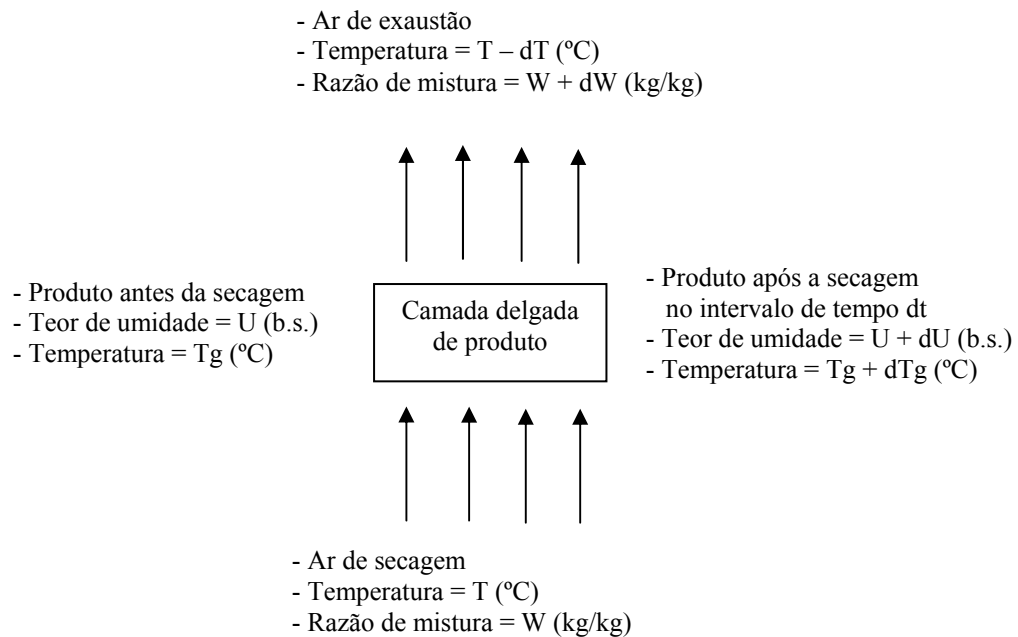


Figura 2.2. Esquema das variações que ocorrem na secagem de uma camada fina de grãos, durante um intervalo de tempo,  $dt$ .

Para desenvolver o modelo, foram feitas as seguintes suposições:

- a) A secagem de uma camada delgada de produto pode ser descrita por uma equação obtida empiricamente.

No caso específico do milho, THOMPSON *et al.* (1968) obtiveram a seguinte equação

$$t = A \cdot \ln(RU) + B \cdot [\ln(RU)]^2 \quad (2.8)$$

em que

- $t$  = tempo de secagem, em h;  
 $RU$  = razão de umidade do produto, adimensional; e  
 $A$  e  $B$  = parâmetros que dependem da temperatura do ar.

Os parâmetros  $A$  e  $B$  da Equação 2.8, obtidos a partir das curvas de secagem de milho, podem ser calculados por

$$A = -1,706 + 0,088 T \quad (2.9)$$

$$B = 148,7 e^{(-0,059 T)} \quad (2.10)$$

em que

$T$  = temperatura do ar de secagem, °C.

- b) A temperatura do grão é igual à temperatura do ar que o envolve, após os balanços de energia, que levam em conta o resfriamento proveniente da evaporação da água do produto e das temperaturas iniciais do grão e do ar.
- c) O teor de umidade de equilíbrio depende da temperatura e da umidade relativa do ar nas vizinhanças do grão. A equação proposta para ser utilizada no modelo é a seguinte

$$U_e = 1,206 \left[ -\ln \left( \frac{1 - 0,01 UR}{T + 45,6} \right) \right]^{0,5} \quad (2.11)$$

em que

UR = umidade relativa do ar de secagem, em %, e

$U_e$  = teor de umidade de equilíbrio, em decimal, b.s..

- d) A entalpia de vaporização da água no grão de milho depende da sua temperatura e do seu teor de umidade

$$L_v = (606 - 0,57 T) \left[ 1 + 4,35 e^{(-28,25 U)} \right] \quad (2.12)$$

em que

$L_v$  = entalpia de vaporização, kcal/kg de água evaporada.

- e) A entalpia específica do milho depende de seu teor de umidade

$$c_p = 0,35 + \left( \frac{0,851 U}{1 + U} \right) \quad (2.13)$$

em que

$c_p$  = entalpia específica do milho, em kcal kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>.

### Fluxograma do modelo

O modelo de simulação de secagem apresentado por THOMPSON et. al. (1968) determina as variações ocorridas nas condições do ar e dos grãos em uma camada de

espessura reduzida, dividindo o processo de secagem em vários subprocessos. Este procedimento foi utilizado com a finalidade de simplificar a solução do modelo. A seguir, apresentam-se os passos que devem ser executados para simular a secagem em uma camada fina:

Passo 1. Cálculo da temperatura de equilíbrio entre ar e grão, considerando somente a troca de calor sensível.

Para essa determinação, faz-se necessário o seguinte balanço de energia

$$0,24 T_o + W_o (588 + 0,45. T_o) + cp R (1 + U) T_{go} = 0,24 T_e + W_o (588 + 0,45.T_e) + cp R (1 + U) T_{ge} \quad (2.14)$$

em que

- $T_o$  = temperatura do ar na entrada da camada fina, em °C;
- $W_o$  = razão de mistura do ar na entrada da camada fina, em  $kg\ kg^{-1}$ ;
- $T_{go}$  = temperatura do grão no instante t, em °C;
- $T_e$  = temperatura do ar em equilíbrio com grão, em °C;
- $T_{ge}$  = temperatura do grão em equilíbrio com o ar, em °C;
- $U$  = teor de umidade do produto no tempo t, decimal, b.s.; e
- $R$  = razão entre massa de matéria seca da camada e massa de ar seco que passa no intervalo dt, em  $kg\ kg^{-1}$ .

Admitindo que a temperatura do grão é igual à do ar que o envolve, tem-se:

$$T_{ge} = T_e \quad (2.15)$$

A razão entre as massas de matéria seca e de ar seco deve ser determinada no início da simulação por meio de equação

$$R = \frac{P\ ve\ A\ dx}{[(Q\ dt\ 60\ (1 + U_o))]} \quad (2.16)$$

em que

- $U_o$  = teor de umidade inicial, decimal, bs;
- $dx$  = espessura da camada fina, em m;
- $dt$  = incremento de tempo, em h;
- $P$  = peso específico do produto no início da secagem, em  $kg\ m^{-3}$ ;
- $Q$  = vazão de ar,  $m^3\ min^{-1}$ ,
- $A$  = área da seção transversal, em  $m^2$ ; e
- $ve$  = volume específico do ar,  $m^3\ kg^{-1}$ .

A temperatura de equilíbrio pode ser então determinada

$$T_e = \frac{\left[ (0,24 + 0,45 W_0) T_0 + cp R (1 + U) T_{go} \right]}{\left[ 0,24 + 0,45 W_0 + cp R (1 + U) \right]} \quad (2.17)$$

Passo 2 - Cálculo da umidade relativa do ar nas condições de equilíbrio

$$UR = \frac{100 P_{atm} W_0}{\left[ (0,622 + W_0) P_{vs} \right]} \quad (2.18)$$

em que

$P_{atm}$  = pressão atmosférica, em mmHg; e  
 $P_{vs}$  = pressão de vapor de saturação, à temperatura  $T_e$ , em mmHg.

A pressão de vapor de saturação pode ser determinada pela equação apresentada por BROOKER et al. (1979)

$$P_{vs} = 51,715 e^{\left[ 51,594 - \frac{6834}{(T_e + 273,16)} - 5,169 \ln (T_e + 273,16) \right]} \quad (2.19)$$

Passo 3 - Cálculo do teor de umidade de equilíbrio

O conteúdo de umidade de equilíbrio,  $U_e$ , é calculado determinando a umidade relativa do ar, UR, antes da secagem e utilizando a temperatura obtida na Equação 2.17.

Assim

$$U_e = 1,206 \left[ \frac{(-\ln(1 - 0,01 UR))}{(T_e + 45,6)} \right]^{0,5} \quad (2.20)$$

Passo 4 - Cálculo do tempo equivalente

O tempo equivalente é definido como o tempo que o produto deveria ficar exposto às condições atuais do ar ( $T_e, W_0$ ) para que o teor de umidade fosse reduzido do valor inicial ( $U_0$ ) para o valor atual ( $U$ ). Para essa determinação, usa-se a equação empírica de secagem em camada delgada

$$t_e = A \ln (R U_0) + B [\ln(R U_0)]^2 \quad (2.21)$$

em que

$t_e$  = tempo equivalente, em h.

$$R U_o = \frac{(U - U_e)}{(U_o - U_e)} \quad (2.22)$$

$$A = -1,706 + 0,0088 T_e \quad (2.23)$$

$$B = 148,7 e^{\left(-0,059 T_e\right)} \quad (2.24)$$

Os valores de A, B e  $U_e$  são funções da temperatura  $T_e$

Passo 5 - Cálculo da nova razão de umidade do produto,  $RU_f$

A razão de umidade do produto, após secagem às condições de ar  $T_e$  e  $W_o$ , durante um intervalo,  $Dt$ , de tempo, é determinada por meio da equação empírica de secagem em camada delgada

$$RU_f = e^{\left[ \frac{(-A - (A^2 + 4 B (t_e + dt))^{0,5})}{2 B} \right]} \quad (2.25)$$

Passo 6 - Cálculo da umidade do produto,  $U_f$ , no tempo  $t + dt$

$$U_f = RU_f (U_o - U_e) + U_e \quad (2.26)$$

Passo 7 - Cálculo da nova razão de mistura do ar

A razão de mistura do ar consistente com a perda de umidade do produto é determinada por um balanço de massa

$$W_f = W_o + R (U - U_f) \quad (2.27)$$

em que

$$W_f = \text{razão da mistura do ar de saída da camada fina de grãos, em kg.kg}^{-1}.$$

Passo 8 - Cálculo das temperaturas finais do ar e do produto

As temperaturas finais do ar e do produto são determinadas por meio de um balanço de energia que leva em conta a perda de umidade dos grãos

$$0,24 T_e + W_o (588 + 0,45 T_e) + cp R (1 + U) T_{ge} + (W_f - W_o) T_{ge} = \\ 0,24 T_f + W_f (588 + 0,45 T_f) + cp R (1 + U) T_{gf} + (W_f - W_o) DL \quad (2.28)$$

em que

$T_f$  = temperatura do ar após a passagem pela camada de grãos, em °C; e  
 $T_{ge}$  = temperatura do grão após a passagem do ar, em °C.

$$DL = (606 - 0,57 T_e) 4,35 e^{(-28,25 U)} \quad (2.29)$$

Admitindo que a temperatura do grão é igual do ar que o envolve tem-se

$$T_{gf} = T_f \quad (2.30)$$

O primeiro e o segundo termo de cada lado da Equação 21 representam as entalpias inicial e final do ar. O terceiro termo de cada lado é a energia contida no produto, nos tempos  $t$  e  $t + dt$ . O quarto termo do lado esquerdo da igualdade é a quantidade de energia contida na água que está sendo retirada do produto.

O último termo da equação é a quantidade de energia adicional necessária para evaporar a água do produto, acima da quantidade necessária para evaporar a água livre.

Explicitando  $T_f$  da Equação 2.30

$$T_f = \frac{[(0,24 + 0,45 W_o) T_e - (W_f - W_o) (588 + DL - T_e) + cp R (1 + U) T_e]}{[0,24 + 0,45 W_f + cp R (1 + U)]} \quad (2.31)$$

Passo 9 - Os valores de  $T_f$  e  $W_f$  são consistentes?

Efetuada todos esses cálculos, é necessário verificar se o resultado obtido é factível. Em certos casos, pode-se obter resultados em que a umidade relativa do ar, determinada matematicamente, é superior a 100%. Se isso ocorrer, novos balanços de massa e de energia deverão ser feitos, simulando a condensação de água no produto.

Nesses novos balanços o ponto de estado  $T_f$  e  $W_f$ , não factível, será corrigido para o ponto de estado  $T_f^*$  e  $W_f^*$ .

$$\begin{aligned} 0,24 T_f + W_f (588 + 0,45 T_f) + (W_f^* - W_f) T_f + cp R (1 + U) T_f = \\ 0,24 T_f^* + W_f^* (588 + 0,45 T_f^*) + cp R (1 + U) T_f^* \end{aligned} \quad (2.32)$$

Nessa equação, há duas variáveis a serem determinadas,  $T_f^*$  e  $W_f^*$ . A outra condição usada para tornar possível a determinação é que a umidade relativa determinada matematicamente seja igual a 100%.

A quantidade de água condensada no produto faz com que sua umidade passe a ser  $U_f^*$ , sendo

$$U_f^* = U_f - \left[ \frac{(W_f^* - W_f)}{R} \right] \quad (2.33)$$

### **Simulação de secagem em camada espessa**

Entendida o procedimento para o cálculo das variações ocorridas na secagem de uma camada fina, para pequenos incrementos de tempo, fica fácil entender a simulação de secagem em camada espessa.

Para a simulação de secagem de uma camada estacionária, divide-se a massa de grãos em várias camadas finas e, consecutivamente, calculam-se as variações na temperatura e umidade do ar, à medida que este vai passando de uma camada para outra, bem como as variações ocorridas no produto em cada camada, devido a passagem do ar. A simulação é realizada para pequenos intervalos de tempo, até que o produto atinja a umidade desejada.

Teoricamente, um secador de fluxos cruzados funciona como se fosse um secador em leito fixo. O ar de secagem evapora e transporta a umidade do produto para o meio exterior. A temperatura e a capacidade de carrear água do ar vão diminuindo à medida que este passa pelas camadas.

Para a simulação de secagem em secadores contínuos de fluxos cruzados, admite-se que não haja revolvimento da massa de grãos. Assim, a massa de grãos se apresenta como se fosse formada por camadas infinitamente longas, passando pela coluna do secador, fluindo o ar em direção perpendicular às camadas do produto.

#### **2.2.6. Secagem contínua**

Os grãos ficam constantemente sob a ação do calor, até que seu teor de umidade atinja o valor desejado. Sendo assim, existe um fluxo constante de grãos no interior do secador e, simultaneamente, há grãos úmidos entrando, grãos em fase de secagem e grãos secos e frios sendo descarregados. O tempo de residência é muito importante neste tipo de secagem.

Esta secagem é indicada para uma grande quantidade de produtos, tendo como vantagem a redução no tempo total de secagem, porque as operações de carga e descarga do secador ocorrem simultaneamente com a secagem (SILVA, 2000).

### **2.2.7. Secagem intermitente**

O produto passa, mais de uma vez, pelo interior do secador antes de completar a secagem. Assim, o produto sofre a ação do calor, durante intervalos de tempo, intercalados por períodos de repouso.

Em geral a quantidade de água retirada, proporcionalmente à secagem contínua, é maior. O rendimento do secador aumenta, devido à maior migração de água do centro para a periferia dos grãos pelo fato de os grãos terem descansado entre uma passagem e outra dentro do secador. No entanto, na secagem contínua os secadores podem ter câmaras de repouso que se bem dimensionadas, também proporcionarão uma melhoria na eficiência de secagem. Com esta redistribuição de umidade nos grãos, a secagem é facilitada e a possibilidade de ocorrência de trincas diminui devido à diminuição das tensões internas no grão (SILVA, 2000).

### **2.2.8. Secadores do tipo torre com fluxos mistos**

Este é um dos secadores mais utilizados nas unidades armazenadoras do Brasil, sendo encontrado nas capacidades de 15 a 250 t h<sup>-1</sup>. Tem como desvantagens o alto custo inicial. Como vantagens, apresenta alta eficiência energética e alta capacidade de secagem (SILVA, 2000).

Este secador é composto por: (i) base da torre de secagem; (ii) acionamento da rosca de descarga; (iii) funil de descarga; (iv) mesa de descarga; (v) torre de secagem; (vi) funil de carga; (vii) elevador de carga e descarga; (viii) difusor de entrada de ar; (ix) difusor de saída de ar; (x) exaustor; e (xi) fornalha (Figura 2.3) (WEBER, 1995).

As bases da torre de secagem são constituídas por pilares de concreto, que dão sustentação à mesa de descarga e à torre de secagem.

O acionamento da rosca de descarga pode ser feito por meio de um motor e contramarcha na descarga mecânica e por motorreductor na descarga pneumática. A rosca transportadora descarrega o produto do secador, transportando os grãos secos para o pé do transportador para descarga ou rodízio.

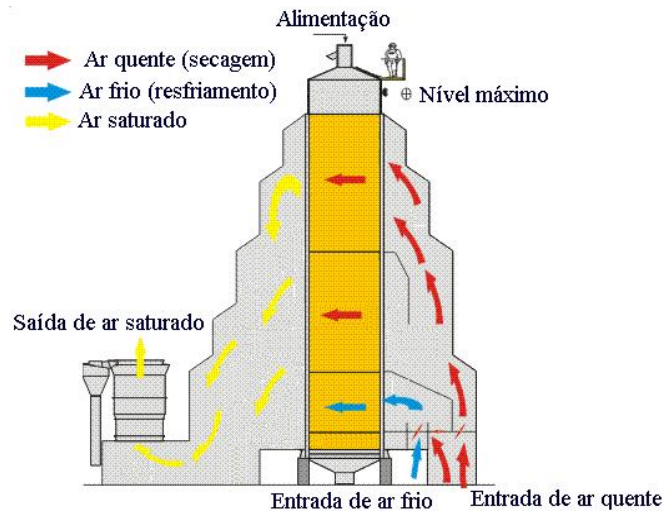


Figura 2.3. Secador do tipo torre de fluxos mistos.

O funil de descarga serve para receber o grão da mesa de descarga e o descarrega na rosca de descarga.

A mesa de descarga regula o fluxo de grãos, possibilitando que seja mais rápido ou lento; pode ter um sistema mecânico ou pneumático das bandejas ou da eclusa rotativa.

- Na descarga mecânica, a velocidade de descida dos grãos pode ser regulada de duas maneiras: (i) pela amplitude da oscilação das bandejas, com regulação por meio do excêntrico; e (ii) pela posição mais alta ou baixa das bandejas. Isto pode ser feito por meio de alavanca própria, sendo que as bandejas na posição menos elevada determinam maior velocidade de descarga e vice-versa. A limpeza deve ser feita com as bandejas baixas e inclinadas. Com o secador carregado, a elevação das bandejas poderá ser feita, se o exaustor estiver funcionando e circulando ar através da torre de secagem e de resfriamento. Baixar as bandejas sempre será possível, mesmo com o secador carregado e desligado. Pode-se inclinar as bandejas, a fim de facilitar a limpeza, quando o secador estiver descarregado. Outra regulação importante na operação de descarga é a dos registros sobre as bandejas, com o objetivo de uniformizar a velocidade de descida dos grãos durante a secagem, em toda a seção do secador, propiciando uma secagem mais uniforme.

- Na descarga com a mesa pneumática, o movimento é obtido por meio de um sistema de ar comprimido e cilindro pneumático controlado por dois atuadores eletrônicos, que determinam os tempos de abertura e fechamento das bandejas. O tempo de abertura e fechamento das bandejas determinará o fluxo de grãos a ser descarregado. Este sistema é composto por: (i) compressor de ar, com depósito de ar comprimido;

(ii) quadro de comando com os atuadores eletrônicos, válvula reguladora de pressão, dispositivo de lubrificação, filtro de ar e válvula solenóide de quatro vias; (iii) cilindro com pistão; e (iv) bandejas de descarga. As duas primeiras filas de dutos sobre a descarga possuem aberturas nos dois lados e tampas para inspeção, regulagem e limpeza.

- A descarga por eclusas rotativas é composta por um motor elétrico, acoplado a um redutor de velocidade, que pode ser do tipo velocidade fixa ou variável, permitindo a variação da rotação das eclusas, aumentando ou diminuindo a velocidade de descida dos grãos. O eixo acionado pelo motor transmite, para as demais eclusas, o movimento de rotação por meio das rodas dentadas e correntes. Cada eclusa é composta de um tubo, contendo aletas metálicas que, ao girar, movimentam para fora os grãos que se encontram junto delas. O sistema de regulagem da velocidade da descarga pode ser feito por meio da variação das eclusas, ou por meio da utilização de atuadores eletrônicos que regulam o tempo de abertura e fechamento das bandejas.

A torre de secagem é composta por: (i) torre; (ii) quadros laterais; (iii) calhas ou dutos de ar; (iv) espelhos; (v) quadros intermediários; (vi) tampas; e (vii) funil de carga.

O difusor de entrada de ar é composto por várias peças, que formam um canal de ligação entre a fornalha e o corpo do secador. Na parte superior, conduz o ar quente e na inferior o ar frio. O difusor de saída de ar liga o corpo do secador, o lado da saída do ar quente, com o exaustor.

O exaustor centrífugo de dupla entrada movimenta tanto o ar quente de secagem quanto o ar de resfriamento; seus principais componentes são: carcaça, rotor duplo, mancais, polia do exaustor e do motor, motor elétrico, trilho e esticador de correias.

A torre central é composta por uma série de calhas em V invertida, dispostas em linhas alternadas paralela ou transversalmente, dentro da estrutura do secador. Neste tipo de secador, o produto movimenta-se para baixo e entre as calhas, sob ação da gravidade.

O ar de secagem entra numa linha de calhas e sai nas outras imediatamente adjacentes, superiores ou inferiores, alternando, então, fluxos de ar em sentido concorrente, contracorrente e cruzados.

De acordo com Silva (2005), como nem toda energia entregue ao ar de secagem é utilizada na remoção de água dos grãos, parte do calor é, então, perdida sob a forma de calor sensível no ar de exaustão, no aquecimento dos grãos, por condução, irradiação e convecção no corpo do secador para o ambiente. Para determinar as perdas e a

eficiência de um secador, é necessário conhecer como se distribui o consumo de energia no sistema composto pelo secador, grãos e ar. No Quadro 2.4, apresenta-se a distribuição de consumo de energia em um secador de fluxo cruzado, como exemplo.

Quadro 2.4. Distribuição do consumo específico de energia em um secador de fluxo cruzado

| Consumo<br>kJ (kg de água<br>evaporada) <sup>-1</sup> | Uso da energia sob forma de calor                   | % do consumo<br>total |
|---|---|-----------------------|
| 754   | Perdas pelo trocador e na tiragem dos gases         | 15                    |
| 100   | Perdas no secador                                   | 2                     |
| 301   | Perda por aquecimento dos grãos                     | 6                     |
| 603   | Perda pelo ar de exaustão não-saturado              | 12                    |
| 754   | Perda por calor sensível do ar de exaustão saturado | 15                    |
| 2512  | Energia necessária à vaporização da água            | 50                    |
| 5024  | Consumo total                                       | 100                   |

Fonte: (SILVA, 2000)

No Quadro 2.4, observa-se que a redução do consumo específico envolve: (i) utilização de fornalhas com aquecimento de ar direto, em lugar das que possuem trocador de calor ou de aquecimento indireto; (ii) reciclagem de parte do ar de exaustão, quando este estiver abaixo da umidade relativa de equilíbrio recomendada; e (iii) utilização do calor sensível dos grãos (seca-aeração, secagem combinada e outros).

Em secadores tipo torre de fluxos mistos, a perda no secador pode variar em média de 10 a 15% e não de 2% como a apresentada no Quadro 2.4 e a energia necessária à vaporização da água em torno de 30 a 35%, enquanto que no Quadro 2.4 este valor é de 50%.

Em alguns modelos de simulação do processo de secagem, a perda por calor sensível do ar de exaustão saturado não é considerada. O Quadro 2.4 mostra que este valor é significativo, sendo igual a 15%.

Em geral, na secagem de milho, a secagem a altas temperaturas requer entre 4,5 e 8 MJ.kg<sup>-1</sup> de água removida, enquanto a secagem a temperatura ambiente ou a baixa temperatura, requer entre 3,25 e 3,75 MJ.kg<sup>-1</sup> de água removida dos grãos, em função das características do sistema de secagem (GUNASEKARAN, 2002).

### 2.2.9. Secagem combinada

Esta técnica consiste em utilizar secadores em altas temperaturas, enquanto o produto apresenta teor de água mais elevado e, a partir desse ponto, transferir o produto

quente para um sistema de secagem a baixa temperatura, onde a secagem será completada. Desta forma, há uma redução substancial de energia requerida para a secagem, aumentando a eficiência térmica de secagem e a capacidade dinâmica dos secadores. As principais razões para este aumento de eficiência são: (i) nesta situação, os secadores operam com produtos numa faixa de umidade em que a retirada de água dos grãos é mais fácil; (ii) a coluna de resfriamento é convertida em câmara de secagem, aumentando a capacidade de secagem dos secadores de altas temperaturas. Com a adoção da secagem combinada, o processo de secagem em altas temperaturas pode reduzir em até 50% da energia total requerida e dobrar a capacidade de secagem do secador (SILVA, 2000).

### **2.2.10. Sistemas de aquecimento de ar**

#### **Combustível**

De acordo com Vale et al. (2000), a variação da massa específica básica da madeira devido à espécie é de  $380 \text{ kg m}^{-3}$  a  $780 \text{ kg m}^{-3}$ . Para algumas espécies de eucalipto, a variação é de  $440$  a  $460 \text{ kg m}^{-3}$  (GATTO et al., 2003).

Na combustão da madeira, inicialmente, há decomposição da biomassa, por ação do calor, ocorrendo em uma seqüência de fases: secagem, pirólise/gaseificação, ignição de substâncias voláteis e combustão do carbono fixo. Ao entrar em contato com o calor da fornalha, a lenha sofre um processo de secagem. Durante este processo, a temperatura permanece baixa devido à evaporação da água do combustível. Após a secagem, a elevação de temperatura faz com que os voláteis se desprendam durante o processo de pirólise e gaseificação, que absorvem calor da fornalha. A geração de calor acontece na queima dos gases voláteis desprendidos e do carbono fixo. O carbono fixo é queimado sobre a grelha, quando a temperatura atinge valores entre  $400$  e  $550^\circ\text{C}$ , segundo Barros e Vasconcelos, citados por LOPES (2002).

A temperatura de chama da fornalha pode ser medida com um pirômetro ótico, para posterior conferência com a literatura para constatação se houve ou não a queima completa do combustível lenha, mediante a adoção deste critério. Após a queima na câmara de combustão poderá haver na saída dos gases de combustão ainda  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{SO}_2$ . Para obtenção de uma queima mais eficiente, deve-se padronizar a lenha em toras. Nas fornalhas de carga manual de lenha utiliza-se, toras de, aproximadamente, um metro de comprimento e vinte centímetros de diâmetro. O teor de água deverá ser determinado pelo método padrão da estufa, (BRASIL, 1992).

### 2.2.11. Fornalha

Segundo Andrade et al. (1984) e Lopes et al. (2000a), a fornalha é o lugar onde ocorre à queima de combustível, ou seja, onde a energia química potencial do combustível transforma-se em energia térmica (calor). É o lugar onde o combustível em contato com uma quantidade mínima de ar em excesso é queimado, havendo uma pequena perda de calor ao ambiente.

O tamanho e a forma da fornalha dependem do tipo de combustível, do dispositivo usado para queimá-lo e da quantidade de energia a ser liberada, em determinado intervalo de tempo. A ocorrência da combustão completa deve-se a uma mistura de ar-combustível homogênea, na dosagem ideal e no tempo correto. Com isso, pode-se obter um aquecimento do combustível até a sua ignição ser auto-sustentável (LOPES, 2002).

As fornalhas podem ser classificadas, quanto a natureza dos combustíveis, em: (i) fornalhas para combustíveis sólidos - lenha, carvão vegetal, sabugo de milho e outros; (ii) fornalhas para combustíveis sólidos pulverizados - carvão em pó, casca de arroz, de café, entre outros; (iii) fornalhas para combustíveis líquidos - óleo diesel, óleo BPF, entre outros; e (iv) fornalhas para combustíveis gasosos, tais como: gás natural, gás GLP, entre outros.

Na maioria dessas fornalhas, existe um ventilador que insufla ou succiona o ar atmosférico, o qual fornece o oxigênio necessário à combustão do combustível. As fornalhas com grelha, para combustíveis sólidos, além de necessitarem de maior espaço, são normalmente mais pesadas, caras e com potências crescentes de ventilador.

As principais propriedades dos combustíveis, que influenciam o processo de combustão são: (i) granulometria do combustível; (ii) teor de água; (iii) conteúdo de componentes voláteis; e (iv) conteúdo de cinzas.

Na granulometria do combustível, a superfície específica ( $m^2 kg^{-1}$ ) é variável conforme o tamanho das partículas e determinará a potência de combustão.

Um maior teor de água no combustível diminui a eficiência de combustão, pois, parte da energia fornecida para que o processo seja auto-sustentável é utilizada para esquentar e evaporar a água presente no combustível.

Quanto mais elevado o teor de gases voláteis oxidáveis, mais rápido será o processo de combustão e mais uniforme será a chama.

Um teor elevado de cinzas presente no combustível contribuirá para atraso no processo de combustão e necessidade freqüente de limpeza do cinzeiro.

A fornalha destinada a queima de combustíveis sólidos não-pulverizados, como a lenha, consiste principalmente de: (i) câmara de combustão; (ii) grelha; (iii) cinzeiro; (iv) entrada de ar; e (v) saída dos gases.

A câmara de combustão é o espaço destinado ao processo de combustão; é o local onde todos os compostos combustíveis devem ser oxidados, liberando energia térmica. É importante, em qualquer fornalha, o dimensionamento correto da câmara de combustão, da área das grelhas e da abertura do ar primário, a fim de obter suficiente quantidade de oxigênio, bem como possibilitar uma mistura comburente-combustível eficiente com o máximo de aproveitamento do combustível e o mínimo de fumaça.

A grelha é a estrutura, que mantém o combustível sólido suspenso durante o processo de combustão, enquanto o ar comburente circula por sua superfície.

As entradas de ar reguláveis encontram-se em pontos estratégicos no corpo da fornalha, sendo responsáveis pela passagem do ar comburente para o seu interior e devem ser localizadas de modo a facilitar a mistura comburente-combustível. Denomina-se de ar primário, a massa de ar que é utilizada na combustão do combustível. As entradas de ar primário, normalmente são localizadas na parte inferior da fornalha para combustíveis sólidos. O ar secundário, é aquele que se junta ao ar quente da saída da combustão, por meio das entradas do ciclone, algumas entradas de ar frio da parte inferior e superior na fornalha e as do corpo do secador.

Os gases resultantes da combustão e de parte do excesso de ar comburente são utilizados para diversas finalidades, como fonte de energia térmica.

A utilização de lenha na forma de tora com grande diâmetro, em uma fornalha, exigirá uma quantidade maior de ar. Desta forma, o tamanho da lenha deverá ser reduzido para facilitar a combustão. A eficiência de combustão aumenta com aumento na área superficial do combustível e com o contato oxigênio-combustível.

As fornalhas de grelha destinadas à queima de lenha podem ser, ainda, classificadas de acordo com o aproveitamento dos gases da combustão, em: fornalhas com aquecimento direto e fornalhas com trocador de calor ou de aquecimento indireto.

Nas fornalhas com sistema de fogo direto, a energia térmica proveniente dos gases resultantes da combustão é diretamente utilizada como, por exemplo, para secagem de produtos agrícolas. A câmara de combustão nas fornalhas de aquecimento direto confunde-se com a própria fornalha e pode ser dividida em três partes distintas. A primeira destina-se à carga, à ignição do combustível e à entrada do ar comburente. A segunda parte compreende o espaço, onde se desenvolve a chama e completa-se a

combustão dos compostos voláteis. A terceira tem a função de interligar a fornalha ao ciclone e aumentar o tempo de permanência dos gases na fornalha para auxiliar o apagador de fagulhas.

### **Dimensionamento de fornalhas a fogo direto para combustíveis sólidos**

SILVA (2005) definiu parâmetros relacionados à geometria das fornalhas em secadores tipo cascata, de acordo com sua área de grelha e consumo horário de lenha. De acordo com Silva (2005), para uma capacidade de secagem de  $60 \text{ t h}^{-1}$ , a área de grelha deveria ser igual a  $6,92 \text{ m}^2$ , no mínimo. Já os fabricantes de fornalhas indicam que a área deve ser igual a  $6,00 \text{ m}^2$ , no mínimo para um sistema de secagem de  $60 \text{ t h}^{-1}$ .

Segundo Andrade et al. (1984), o dimensionamento da fornalha pode ser realizado de forma prática. Inicialmente, identifica-se: (i) as características do ventilador a ser utilizado com o fluxo de ar ( $\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$ ) e a pressão estática total (mmca); (ii) o acréscimo máximo de temperatura esperado; (iii) a temperatura média do ambiente; (iv) a quantidade de calor necessário; (v) o teor inicial e final de água do produto a ser secado; (vi) a quantidade de produto a ser seco, por hora; e (vii) o cálculo da superfície da grelha. Desta forma, a quantidade de calor necessário a ser produzido pela fornalha pode ser dada pela relação de calor sensível, ou

$$Q = \rho Q_{vr} c_p \Delta t \quad (2.34)$$

em que

- $Q$  = quantidade de calor necessário,  $\text{kJ s}^{-1}$ ;
- $\rho$  = massa específica do ar,  $\text{kg m}^{-3}$ ;
- $Q_{vr}$  = vazão de ar total do ventilador real, com excesso de ar,  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ;
- $c_p$  = calor específico do ar,  $\text{kJ (kg } ^\circ\text{C)}^{-1}$ ; e
- $\Delta t$  = acréscimo máximo de temperatura esperado,  $^\circ\text{C}$ .

A quantidade máxima de produto a ser secado, por hora, pode ser dada por

$$m_p = \frac{3600 (100 - U_f) Q \eta}{L (U_i - U_f)} \quad (2.35)$$

em que

- $m_p$  = quantidade máxima de produto a ser secado por hora,  $\text{kg h}^{-1}$ ;
- $U_f$  = teor final de água do produto, % b.u.;
- $Q$  = quantidade de calor necessário,  $\text{kJ s}^{-1}$ ;
- $\eta$  = rendimento da fornalha, %;
- $L$  = calor latente de vaporização; e
- $U_i$  = teor inicial de água do produto, % b.u..

O cálculo da quantidade de lenha pode ser feito a partir da taxa de combustão admitida e do poder calorífico inferior da lenha e pode ser dado por

$$m_L = \frac{3600 Q}{PCI} \quad (2.36)$$

em que

- $m_L$  = quantidade de lenha que a fornalha consome por hora,  $\text{kg h}^{-1}$ ;
- $Q$  = quantidade de calor necessário,  $\text{kJ s}^{-1}$ ; e
- $PCI$  = poder calorífico inferior da lenha,  $\text{kJ kg}^{-1}$ .

De acordo com a literatura disponível, pode-se considerar a taxa de combustível ( $T_c$ ) admitida para grelha plana, com carga manual e ar forçado igual a  $200 \text{ kg (h m}^2\text{)}^{-1}$ . Desta forma, a superfície total da grelha da fornalha pode ser calculada por

$$S = \frac{m_L}{T_c} \quad (2.37)$$

em que

- $S$  = superfície total da grelha da fornalha,  $\text{m}^2$ ;
- $m_L$  = quantidade que o secador consome por hora,  $\text{kg h}^{-1}$ ; e
- $T_c$  = taxa de combustível admitida para grelha plana, com carga manual e ar forçado igual a  $200 \text{ kg (h m}^2\text{)}^{-1}$ .

Um melhor aproveitamento do combustível lenha ocorre por automação das fornalhas. O processo de automação proporcionaria a utilização de resíduos da lenha, que normalmente não são utilizados na operação de secagem de grãos, aumentando a eficiência do processo de secagem, devido à melhoria da relação granulometria do combustível com o comburente oxigênio e poderiam, também, ser utilizados outros resíduos de madeira e podas de árvores urbanas e jardins públicos, entre outras fontes, com o custo econômico apenas do transporte deste material. Um outro aspecto a ser analisado é o ergonômico, pois, a alimentação manual praticada nas diversas unidades armazenadoras é dispendiosa e danosa à saúde da maioria dos operadores de secador e seus ajudantes.

### **2.2.12. Cálculo da vazão de ar necessária para a secagem**

De acordo com Henderson et al. (1997), o ventilador a ser utilizado juntamente com o secador pode ser dimensionado de acordo com um balanço de massa e energia, no sistema de secagem em estudo. A representação da variação das propriedade

termodinâmicas do ar durante o processo de secagem pode ser observado no gráfico psicrométrico apresentado na Figura 2.4.

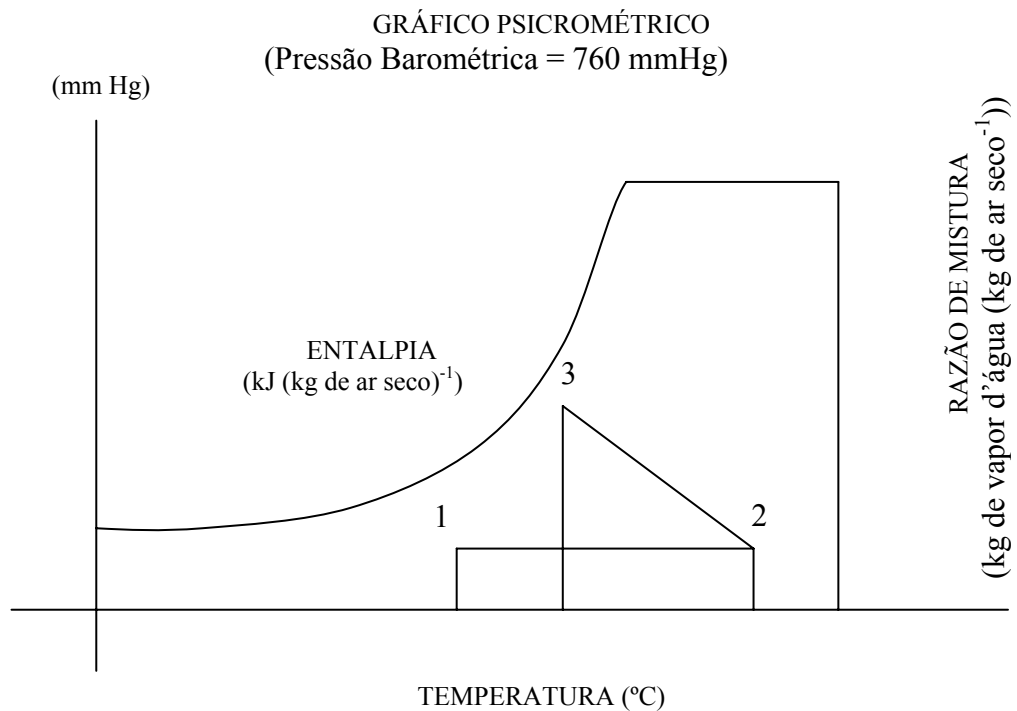


Figura 2.4. Representação da variação das propriedades termodinâmicas do ar durante o processo de secagem.

De acordo com a Figura 2.4, inicialmente, o ar ambiente sofre um aquecimento com razão de mistura constante (do ponto 1 para 2), estabelecendo-se uma grande capacidade de absorção de água. Logo em seguida, o ar passa entre a massa de produto trocando calor e massa com o produto e tendo um resfriamento à entalpia constante, (do ponto 2 para 3), carregando consigo água do produto.

Inicialmente, devem-se especificar as características do produto e as condições psicrométricas do ar antes, dentro e depois da entrada no secador.

As características do produto a serem obtidas são: (i) a massa inicial de produto; (ii) teor inicial de água em base úmida; (iii) teor final de água em base seca e úmida; (iv) calor latente de vaporização; e (v) calor sensível.

Das condições do ambiente deve-se saber as condições do ar: (1) antes da entrada do secador; (2) dentro da câmara de secagem no secador; e (3) no ar de exaustão do secador.

Para a condição (1) – ar de admissão, antes de entrada no secador, deve-se informar: (i) umidade relativa; (ii) temperatura; (iii) entalpia específica; e (iv) razão de

mistura do ar. Para a condição (2) – condições do ar dentro da câmara de secagem no secador, deve-se informar: (i) umidade relativa; (ii) entalpia específica; (iii) volume específico; e (iv) razão de mistura. Para o ar de exaustão, deve-se obter: (i) a temperatura; (ii) entalpia específica; (iii) razão de mistura; e (iv) volume específico.

De posse dos dados, pode-se calcular a massa total de água a ser evaporada na condição inicial, ou

$$P_{a1} = U_i P_t \quad (2.38)$$

em que

- $P_{a1}$  = peso de água para condição inicial, kg de água;
- $U_i$  = teor inicial de água, % b.u.; e
- $P_t$  = peso de grãos total, kg de produto.

A massa de matéria seca é dada por

$$P_{ms} = P_t - P_{a1} \quad (2.39)$$

em que

- $P_{ms}$  = peso de matéria seca total, kg de matéria seca;
- $P_t$  = peso de milho total, kg de produto; e
- $P_{a1}$  = peso de água para condição inicial, kg de água.

A massa de água a ser evaporada até à condição final, pode ser dada pela seguinte equação

$$P_{a2} = U_f P_{ms} \quad (2.40)$$

em que

- $P_{a2}$  = peso de água para condição final do processo de secagem, kg de água;
- $U_f$  = teor final de água, decimal, b.s.; e
- $P_{ms}$  = peso de grãos total – só matéria seca, kg de produto.

A quantidade de água evaporada pode ser dada por

$$Q_{\text{água}} = P_{a1} - P_{a2} \quad (2.41)$$

em que

- $Q_{\text{água}}$  = quantidade de água total a ser evaporada, kg de água.

Para o cálculo da quantidade necessária de ar ambiente, deve-se calcular a variação da razão de mistura do ar de exaustão e do ar da condição inicial, bem como a variação de entalpia entre o ar de secagem e o ar da condição inicial. A variação de razão de mistura é dada por

$$\Delta_{rm} = RM_3 - RM_1 \quad (2.42)$$

em que

$$\begin{aligned}\Delta_{rm} &= \text{variação da razão de mistura, kg de vapor d'água (kg de ar seco)}^{-1}; \\ RM_3 &= \text{razão de mistura do ar de exaustão, kg de vapor d'água (kg de ar seco)}^{-1}; \text{ e} \\ RM_1 &= \text{razão de mistura do ar na condição inicial, kg de vapor d'água (kg de ar seco)}^{-1}.\end{aligned}$$

A massa total de ar seco pode ser calculada por

$$M_{\text{ar seco}} = \frac{Q_{\text{água}}}{\Delta_{rm}} \quad (2.43)$$

em que

$$M_{\text{ar seco}} = \text{massa de ar seco total, kg de ar seco total.}$$

A variação de razão de entalpia pode ser dada por

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (2.44)$$

em que

$$\begin{aligned}\Delta E &= \text{variação da entalpia, kJ (kg de ar seco)}^{-1}; \\ E_2 &= \text{entalpia do ar de secagem, kJ (kg de ar seco)}^{-1}; \text{ e} \\ E_1 &= \text{entalpia do ar do ar na condição inicial, kJ (kg de ar seco)}^{-1}.\end{aligned}$$

A quantidade de energia necessária pode ser dada por

$$E_t = M_{\text{ar seco}} \Delta E \quad (2.45)$$

em que

$$E_t = \text{energia total no ar seco, kJ de ar seco.}$$

A quantidade de lenha necessária para suprir esta energia para obtenção de ar seco pode ser dada por

$$CL = \frac{E_t}{PCI \eta_f} \quad (2.46)$$

em que

$$\begin{aligned}CL &= \text{consumo total de lenha, kg de lenha;} \\ PCI &= \text{poder calorífico inferior da lenha, kJ (kg de lenha)}^{-1}; \text{ e} \\ \eta_f &= \text{rendimento da fornalha, \%}.\end{aligned}$$

Considerando um tempo predeterminado para o período de secagem de um lote de grãos e o número de ventiladores, pode-se calcular a vazão de ar necessária para secagem dos grãos. O cálculo do ventilador pode ser dado por

$$Q_{\text{ar seco}} = \frac{M_{\text{ar seco}}}{t} \quad (2.47)$$

em que

$$\begin{aligned} Q_{\text{ar seco}} &= \text{vazão de ar seco, kg de ar seco (min)}^{-1}; \text{ e} \\ t &= \text{tempo de secagem, min.} \end{aligned}$$

A vazão de ar do ventilador pode ser dada por

$$Q_v = Q_{\text{ar seco}} V_{e_3} \quad (2.48)$$

em que

$$\begin{aligned} Q_v &= \text{vazão de ar total do ventilador, sem excesso de ar, m}^3 \text{ h}^{-1}; \text{ e} \\ V_{e_3} &= \text{volume específico do ar de exaustão, m}^3 \text{ (kg de ar seco)}^{-1}. \end{aligned}$$

A vazão de ar do ventilador, adotando-se um excesso de ar para a queima de combustível sólido em fornalha de grelha plana ou inclinada, pode ser dada por

$$Q_{\text{vr}} = Q_v (1 + E_a) \quad (2.49)$$

em que

$$\begin{aligned} Q_{\text{vr}} &= \text{vazão de ar total do ventilador real, com excesso de ar, m}^3 \text{ h}^{-1}; \text{ e} \\ E_a &= \text{excesso de ar, \%}. \end{aligned}$$

### 2.2.13. Avaliação do sistema de secagem

Segundo Silva et al. (2000), para a análise de eficiência energética no processo de secagem, pode-se utilizar a metodologia proposta por BAKKER-ARKEMA et al. (1978). Esta metodologia foi proposta para avaliação do desempenho de secadores, com base em um número reduzido de testes de campo, sob condições padronizadas e que deve ser complementada com trabalhos de simulação.

A metodologia estabelece que sejam necessários três testes consecutivos para secadores, trabalhando com o sistema em lotes, sendo que, para secadores trabalhando continuamente, é necessário um período de 24 h.

Nessa metodologia, os parâmetros ambientais e de temperatura do ar de secagem podem ser obtidos em intervalos regulares, com posterior cálculo de valores médios.

Os parâmetros e as especificações do secador requerido para a avaliação de desempenho são: (i) parâmetros dos grãos e do ar; e (ii) especificações do secador e uso de energia.

Os parâmetros dos grãos e do ar, que devem ser medidos são: (i) teor inicial e final de água; (ii) temperatura; (iii) quantidade de impureza inicial e final; (iv) massa específica inicial e final; (v) massa inicial; (vi) temperatura do ar de secagem; (vii) temperatura do ar ambiente; (viii) umidade relativa do ar ambiente; e (ix) umidade relativa do ar de exaustão.

Para a avaliação energética do secador, é necessário obter as seguintes informações: (i) densidade do fluxo de ar; (ii) volume total de grãos ou fluxo de grãos; (iii) tempo de secagem ou comprimento da coluna de secagem; (iv) tempo de resfriamento ou comprimento da coluna de resfriamento; (v) largura da coluna de secagem; (vi) pressão estática; (vii) tempos de carga e descarga; (viii) tipo e dados nominais do ventilador e transportadores; (ix) tipo de combustível e sua caracterização energética; (xi) consumo de combustível; (xii) duração do teste; (xiii) volume do produto úmido; (xiv) pontos percentuais de água removida; (xv) capacidade de secagem (grãos úmidos); (xvi) capacidade de secagem (grãos secos); e (xvii) eficiência energética de secagem, considerando-se e não considerando o consumo de energia elétrica.

#### **2.2.14. Custo operacional de secagem**

Segundo Lacerda Filho (1998), embora sendo uma prática antiga em pesquisas, a estimativa dos custos de secagem não constitui, no Brasil, uma rotina das unidades de beneficiamento de grãos e sementes.

Young e Dickens (1975) afirmaram que poucos esforços foram despendidos no sentido de otimizar os processos de secagem, com vistas à conservação de energia ou de capital. Em estudo de avaliação de custo de secagem, em lotes e em fluxos cruzados, os autores estabeleceram os vários parâmetros a serem considerados nesta análise e verificaram que o tempo de secagem é um deles, podendo ser estimado por modelos matemáticos já desenvolvidos. Os parâmetros de custo que envolve o processo de secagem são: energia para movimentar e aquecer o ar de secagem, trabalho humano, equipamentos, manutenção, taxas, seguros e juros. Nessa análise, eles consideraram os custos energéticos de aquecimento e de movimentação do ar, separadamente. Todos os outros custos foram assumidos e considerados como fixos.

Em nível mundial, a maior porcentagem de armazenamento de grãos é feita na fazenda. Este tipo de armazenamento possibilita a obtenção de um produto armazenado de melhor qualidade e, devido ao fato de o produto ser menos manuseado, há uma adequação melhor na utilização das rodovias, das máquinas de colheita e de pré-processamento, dentre outros. No Brasil, infelizmente, cerca de 90 % da capacidade instalada de armazenagem a granel é feita em unidades armazenadoras coletoras, que possuem grandes secadores de grãos estáticos, transportadores, máquinas de limpeza e pré-limpeza, ventiladores estáticos, bombas e outros.

De acordo com Lacerda Filho (1998), os custos de combustível são diretamente proporcionais aos seguintes fatores: elevação da temperatura do ar acima da temperatura do ambiente, fluxo de ar, tempo de secagem e preço de combustível. A Equação 2.50 pode ser utilizada para estimar os custos com combustível.

$$C_1 = \frac{(T - T_a) t_s m_a (c_{pa} + (s c_{pv})) P_1}{PCI \eta_c A X} \quad (2.50)$$

em que

- $C_1$  = custo com combustível para a secagem, R\$ m<sup>-3</sup>;
- $m_a$  = vazão mássica de ar, kg h<sup>-1</sup>;
- $T$  = temperatura do ar de secagem, °C;
- $T_a$  = temperatura do ambiente, °C;
- $t_s$  = tempo de secagem, h;
- $c_{pa}$  = calor específico do ar seco, kJ (kg °C)<sup>-1</sup>;
- $s$  = razão de umidade do ar, kg vapor (kg de ar)<sup>-1</sup>;
- $c_{pv}$  = calor específico do vapor d'água, kJ (kg °C)<sup>-1</sup>;
- $P_1$  = preço do combustível, R\$ (kg)<sup>-1</sup>;
- $A$  = área de secagem, m<sup>2</sup>;
- $\eta_c$  = eficiência de combustão, %;
- $PCI$  = poder calorífico inferior do combustível, kJ kg<sup>-1</sup>; e
- $X$  = espessura da camada de produto, m.

Os custos operacionais para o ventilador podem ser estimados pela equação

$$C_2 = \frac{P_v t_s P_e}{\eta_{sv}} \quad (2.51)$$

em que

- $C_2$  = custo de operação do ventilador, R\$ m<sup>-3</sup>;
- $P_v$  = potência específica demandada pelo motor do ventilador e das bandejas do secador, kW (m<sup>-3</sup> de produto);
- $t_s$  = tempo de secagem, h;
- $P_e$  = custo médio de energia elétrica, R\$ (kWh)<sup>-1</sup>; e
- $\eta_{sv}$  = eficiência do sistema de ventilação, %.

Outros custos são também considerados como aqueles de depreciação dos equipamentos, manutenção, juros, seguros, impostos e mão-de-obra. Os demais custos são considerados fixos e não são afetados pela quantidade de produto seco. Os custos fixos podem ser estimados pela Equação 2.75 (LACERDA FILHO, 1998).

$$C_f = \frac{P_3 + \left( \frac{P_4 F}{t_{sm}} \right)}{\left[ \min \left( \frac{V_s}{t_s}; \frac{V_{max}}{t_{sm}} \right) \right]} \quad (2.52)$$

em que

- $C_f$  = custo fixo, R\$ m<sup>-3</sup>;
- $P_3$  = preço de mão-de-obra, R\$ h<sup>-1</sup>;
- $P_4$  = preço inicial do sistema de secagem, R\$;
- $F$  = custo de manutenção, depreciação, juros, fração decimal do custo inicial;
- $t_{sm}$  = tempo de secagem máximo, h;
- $t_s$  = tempo requerido para a secagem, h;
- $V_s$  = volume do secador, m<sup>3</sup>; e
- $V_{max}$  = máximo volume da produção anual, m<sup>3</sup>.

O custo total de secagem pode ser estimado, somando-se todos os custos.

$$C_t = C_1 + C_2 + C_f \quad (2.53)$$

De posse destes dados, pode-se estimar o custo de secagem.

### 2.2.15. Qualidade de grãos

O conceito de qualidade dos grãos depende da destinação final que se dará ao produto, pois, o comerciante, o consumidor e o legislador possuem objetivos diferentes em relação ao mesmo produto.

Para fins comerciais, a qualidade dos grãos pode ser definida, principalmente, pelo seu teor de água e pela massa específica, quantidade de óleo, amido, valor nutricional, suscetibilidade à quebra, teor de impurezas, quantidade máxima de insetos, traços de agrotóxicos, traços de odores, contaminação por fungos, poder germinativo, vigor e outros. Para o consumidor final, a qualidade se resume a gosto, aspecto visual, contaminação por fungos, traços de odores, traços de agrotóxicos, alimentos modificados geneticamente, e outros. Para o legislador, entretanto, a qualidade é definida por limites máximos de teor de água e de impurezas, grãos quebrados, mofados, materiais estranhos, dentre outros.

### **Aspectos qualitativos relacionados à secagem**

As características físicas e químicas, tais como consistência, conteúdo de energia, palatabilidade, dureza, cor, umidade e teor de proteínas e aminoácidos, são afetadas pela temperatura de secagem (SILVA et al., 2000a).

### **Densidade**

O peso hectolítrico geralmente sofre alterações, durante o processo de secagem. A intensidade dessa mudança depende do teor inicial e final de água do produto, da temperatura de secagem, da variedade dos grãos, do tipo e quantidade de impureza e intensidade dos danos (SILVA et al., 2000a).

### **Quebrados**

A secagem, quando corretamente efetivada, não deve aumentar a porcentagem de grãos quebrados. Mesmo assim, os grãos secados de modo inadequado, tal como ocorre na secagem em temperatura excessiva e posterior resfriamento brusco, tendem a apresentar maior quebra, quando transportados (SILVA et al., 2000a).

### **2.3. OBJETIVO**

Neste trabalho, desenvolveu-se uma metodologia para avaliar a demanda de energia e o custo das operações unitárias em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos, com vistas a atingir os seguintes objetivos:

- Desenvolver uma metodologia para avaliação da demanda de energia e custo das operações unitárias em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos; e
- Aplicar a metodologia, como estudo de caso, em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia (CAROL).

## **2.4. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia (CAROL), Estado de São Paulo, nos municípios de Ituverava e Guaíra e nos laboratórios de Energia e de Pré-Processamento de Produtos Vegetais, ambos pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola, assim como no Laboratório de Fitopatologia, localizados na Universidade Federal de Viçosa.

### **2.4.1 Desenvolvimento de metodologia para avaliação da demanda de energia e custo das operações unitárias em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos**

Foi desenvolvida uma metodologia que contempla estudos relacionados a: (i) linhas de fluxos de produtos agrícolas; (ii) dimensionamento e uso de energia pelos transportadores de grãos; (iii) máquinas de pré-limpeza e de limpeza; (iv) secadores de fluxos mistos; (v) fontes complementares de energia; (vi) monitoramento de variáveis no processo de secagem; (vii) análise do sistema de secagem; (viii) consumo de energia e eficiência de secagem; (ix) parâmetros de avaliação do sistema de secagem; (x) custo operacional de secagem; e (xi) avaliação da qualidade do produto.

Linhas de fluxo de produtos agrícolas

Os equipamentos utilizados no pré-processamento de produtos agrícolas, envolvendo, balanças rodoviárias, moegas de recepção, transportadores, máquinas de pré-limpeza, secador, máquinas de limpeza, silos secadores, silos graneleiros e

tubulações aéreas foram localizados e identificados em um fluxograma. De posse do fluxograma, estudou-se os possíveis pontos de estrangulamento, do fluxo de circulação dos produtos agrícolas.

### **Transportadores**

Foram avaliados os seguintes equipamentos: fitas transportadoras, elevadores de caçambas, transportadores helicoidais e transportadores de corrente. A caracterização técnica dos equipamentos, ocorreu da seguinte forma: (i) posição em relação ao fluxo operacional; (ii) função; e (iii) produto transportado. Para os elevadores de caçamba, foram estudados: (i) altura de elevação do produto; (ii) número de caçambas por metro; (iii) tipo de caçamba; (iv) quantidade máxima de produto a ser transportado por caçamba; (vii) alinhamento das correias no corpo do elevador; (viii) avaliação da condição das correias e polias de transmissão; (ix) velocidade de rotação de trabalho; e (x) condição da lubrificação do mancal de rolamento da base inferior. Para as fitas transportadoras: (i) largura e comprimento das fitas; (ii) espaçamento entre roletes; (iii) condição de lubrificação dos roletes; (iv) ângulo de inclinação dos roletes; e (v) conservação de limpeza do transportador. Para os transportadores helicoidais: (i) passo do helicóide; (ii) diâmetro do eixo e do helicóide; e (iii) comprimento do transportador. Para os transportadores de corrente: (i) dimensões das correntes; (ii) dimensões da calha de transporte; e (iii) comprimento do transportador.

### **Uso de energia**

Visando à racionalização do uso de transportadores em unidades armazenadoras de produtos agrícolas, deve-se considerar: (i) o redimensionamento; (ii) a avaliação da capacidade de transporte nominal; (iii) a verificação da capacidade efetiva; e (iv) a verificação da regulagem.

#### **(i) Redimensionamento de transportadores**

Foi utilizada a teoria clássica de dimensionamento de transportadores de grãos para elevadores de caçamba, fita transportadora, transportadores de corrente e transportadores helicoidais (LACERDA FILHO et al., 1994; KEPLER, 1975).

## Elevadores de caçambas

Segundo Lacerda Filho et al. (1994), o dimensionamento do elevador de caçambas foi feito, conforme apresentado a seguir.

A velocidade de rotação na polia do elevador de caçambas foi calculada por

$$N = \frac{30}{\sqrt{r}} \quad (2.54)$$

em que

N = número de rotações, por minuto, da polia motora, rpm; e  
r = raio efetivo da polia motora, m.

A velocidade linear das caçambas foi dada pela equação

$$v = 2 \pi r N \quad (2.55)$$

em que

v = velocidade linear das caçambas, m/min;  
r = raio efetivo da polia motora, m; e  
N = número de rotações por minuto da polia motora, rpm.

A capacidade do transportador foi dada pela equação

$$Q = v n q \quad (2.56)$$

em que

Q = capacidade do transportador, kg min<sup>-1</sup>;  
v = velocidade linear das caçambas, m min<sup>-1</sup>;  
n = número de caçamba por metro de correia, caçamba m<sup>-1</sup>; e  
q = capacidade de cada caçamba, kg caçamba<sup>-1</sup>.

A potência mecânica requerida para acionamento do elevador carregado foi dada pela equação

$$P = 2,22 \cdot 10^{-4} (Q h) (F_a + 1) 0,736 \quad (2.57)$$

em que

P = potência requerida, kW;  
h = altura de elevação do grão, m; e  
F<sub>a</sub> = fator de segurança (de 10 a 15 %).

O comprimento da correia foi dado pela equação

$$L = R_a + R_d + (2 \pi r) \quad (2.58)$$

em que

- L = comprimento total da correia, m;
- R<sub>a</sub> = comprimento do ramo ascendente da correia, m; e
- R<sub>d</sub> = comprimento do ramo descendente da correia, m.

### Transportadores de corrente

O Quadro 2.5. apresenta a variação de capacidade quanto ao transporte horizontal, em função da inclinação do transportador.

Quadro 2.5. Capacidade relativa do transportador em função do ângulo de inclinação do transportador

| Inclinação do transportador | Capacidade em relação ao transporte horizontal (decimal) |
|-----------------------------|--|
| 20°                         | 0,77   |
| 30°                         | 0,55   |
| 40°                         | 0,33   |

Segundo Kepler (1975), o dimensionamento de transportadores de corrente pode ser feito, considerando-se algumas características do produto e do transportador. A capacidade do transportador foi calculada pela equação

$$Q = 3600 S v C_i \quad (2.59)$$

em que

- Q = capacidade do transportador, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>;
- S = seção transversal do transportador, m<sup>2</sup>;
- v = velocidade do transportador, m s<sup>-1</sup>; e
- C<sub>i</sub> = coeficiente que depende da posição do transportador. Se o transporte ocorrer na horizontal, adotar índice 1, mas se o transporte for na vertical ou inclinado, adotar índice 2.

O Quadro 2.6 apresenta o coeficiente para transporte horizontal e vertical, em transportadores de corrente para soja e milho.

Quadro 2.6. Coeficiente para transporte horizontal (C<sub>1</sub>) e vertical (C<sub>2</sub>) para soja e milho

| Produto | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> |
|---------|----------------|----------------|
| Soja    | 1,10           | 1,40           |
| Trigo   | 1,05           | 1,30           |

A potência demandada em regime permanente pelo transportador, na posição horizontal, foi dada pela equação

$$P_a = 0,736 \left( \frac{Q L + 7,2 P}{270} \right) C_f \quad (2.60)$$

em que

- $P_a$  = potência requerida pelo transportador, kW;
- $Q$  = capacidade do transportador,  $m^3/h$ ;
- $L$  = comprimento do transportador, m;
- $P$  = massa da corrente,  $kg\ m^{-1}$ ; e
- $C_f$  = coeficiente de fricção para os grãos transportados, decimal.

Os valores do coeficiente de fricção, para grãos, estão na faixa de 0,3 a 0,6. A potência demandada pelo transportador, na posição vertical, foi dada pela equação

$$P_b = 0,736 \frac{Q h}{270} \quad (2.61)$$

em que

- $P_b$  = potência requerida pelo transportador, kW;
- $Q$  = capacidade do transportador,  $m^3\ h^{-1}$ ; e
- $h$  = altura de elevação, m.

### **Transportador helicoidal**

Segundo Lacerda Filho et al. (1994), o dimensionamento de transportadores helicoidais pode ser feito, conforme apresentado a seguir. A capacidade do transportador helicoidal, na posição horizontal, foi calculada utilizando-se

$$Q = 47,1 (D^2 - d^2) p N \quad (2.62)$$

em que

- $Q$  = capacidade de transporte,  $m^3/min$ ;
- $D$  = diâmetro do helicóide, m;
- $d$  = diâmetro do eixo do helicóide, m;
- $p$  = passo do helicóide, m; e
- $N$  = número de rotações por minuto do eixo do helicóide, rpm.

A potência requerida pelo transportador helicoidal, na posição horizontal, foi dada pela equação

$$P = 2,22 \times 10^4 (Q \rho L) (F_m + 1) 0,736 \quad (2.63)$$

em que

- P = potência requerida do transportador, kW;
- Q = capacidade de transporte,  $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ ;
- $\rho$  = massa específica do material,  $\text{kg m}^{-3}$ ;
- L = comprimento total do transportador, m; e
- $F_m$  = fator de segurança que depende do material, adimensional.

### Fita transportadora

Segundo Lacerda Filho et al. (1994), o dimensionamento da fita transportadora pode ser feito conforme se segue. O volume transportado pela fita foi estimado pela equação

$$Q = A v \quad (2.64)$$

em que

- Q = volume transportado por hora,  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ;
- A = área da seção transversal de produto transportado,  $\text{m}^2$ ; e
- v = velocidade máxima,  $\text{m h}^{-1}$ .

A potência total demandada pela fita foi estimada pela equação

$$P_t = P_a + P_b + P_c \quad (2.65)$$

em que

- $P_t$  = potência total estimada, kW;
- $P_a$  = potência necessária para movimentação da fita sem carga, kW;
- $P_b$  = estimativa da potência necessária para que a fita transporte o material na posição horizontal, kW; e
- $P_c$  = estimativa da potência necessária para que a fita transporte o produto em posição inclinada, kW.

A estimativa da potência mecânica necessária para movimentação da fita sem carga pode ser estimada pela equação

$$P_a = 0,736 v_c L 1,292 (0,015 + 0,000328 c) \quad (2.66)$$

em que

- $P_a$  = potência necessária para movimentação da fita sem carga, kW;
- $v_c$  = velocidade da correia,  $\text{m min}^{-1}$ ;
- L = largura da correia, m; e
- c = comprimento do transportador, m.

A estimativa da potência necessária para que a fita transporte o material na posição horizontal, foi estimada pela equação

$$P_b = 0,736 \frac{[M (0,48 + 0,0099 c)]}{100} \quad (2.67)$$

em que

$P_b$  = potência necessária para que a fita transporte o material, na posição horizontal, kW; e  
 $M$  = massa de produto a ser transportado, t h<sup>-1</sup>.

A estimativa da potência necessária para que a fita transporte o produto na posição inclinada, foi estimada pela equação

$$P_c = 0,736 \frac{(3,33 H M)}{100} \quad (2.68)$$

em que

$P_c$  = estimativa da potência necessária para que a fita transporte o produto em posição inclinada, kW;  
 $H$  = altura de elevação, m; e  
 $M$  = massa de produto a ser transportado, t h<sup>-1</sup>.

## (ii) Avaliação da capacidade de transporte nominal dos transportadores

Para todos os transportadores avaliados, foram coletados dados sobre a capacidade de transporte da seguinte forma: (1) velocidade do transportador, utilizando-se um tacômetro; (2) altura de elevação ou comprimento do transportador utilizando-se uma trena de 5 m; (3) capacidade unitária de transporte das caçambas, utilizando-se uma balança mecânica; (4) largura da fita transportadora, utilizando-se trena métrica manual; (5) ângulo de roletes, medidos com uma trena métrica manual; (6) número de caçambas por metro, por contagem manual; (7) tipo de caçamba – unitária ou contínua; (8) tipo de produto; e (9) motorização.

Com base nestes dados na teoria de dimensionamento apresentada, estima-se a potência requerida de cada transportador para as condições de transporte efetivo.

### **(iii) Verificação da capacidade efetiva**

Para alguns transportadores, foi possível verificar a capacidade de transporte por meio de método direto. Avaliou-se a capacidade efetiva de movimentação desses transportadores, para as condições operacionais apresentadas durante a fase experimental. Foi utilizada a balança rodoviária da unidade armazenadora, para determinação da massa de grãos que entrava na unidade em um intervalo de tempo pré-definido. Com um cronômetro, mediu-se o tempo de operação dos elevadores, transportando a massa de grãos que foi descarregada nas moegas de recepção. Com a relação estabelecida entre o fluxo de massa de grãos na moega e o tempo necessário para sua remoção, obteve-se a capacidade efetiva de movimentação dos elevadores.

### **Máquinas de pré-limpeza e de limpeza**

Foram observados, por inspeção, os seguintes itens: (i) a posição de regulagem das válvulas de paletas das máquinas de limpeza e pré-limpeza; (ii) velocidade de rotação de trabalho das máquinas; (iii) uniformidade de distribuição do fluxo de produto nas máquinas de limpeza e pré-limpeza; e (iv) capacidade de limpeza das máquinas.

### **Secadores**

Para a realização dos testes de secagem, foram utilizados dois secadores tipo torre de fluxos mistos. A forma de secagem consistiu em utilizar toda a câmara para secagem, transformando, assim, a câmara de resfriamento em câmara de secagem, sendo que, no período de secagem e na recirculação do produto, já na saída do produto, a câmara de resfriamento voltava a funcionar. As figuras 2.5 e 2.6 mostram o funcionamento do secador.

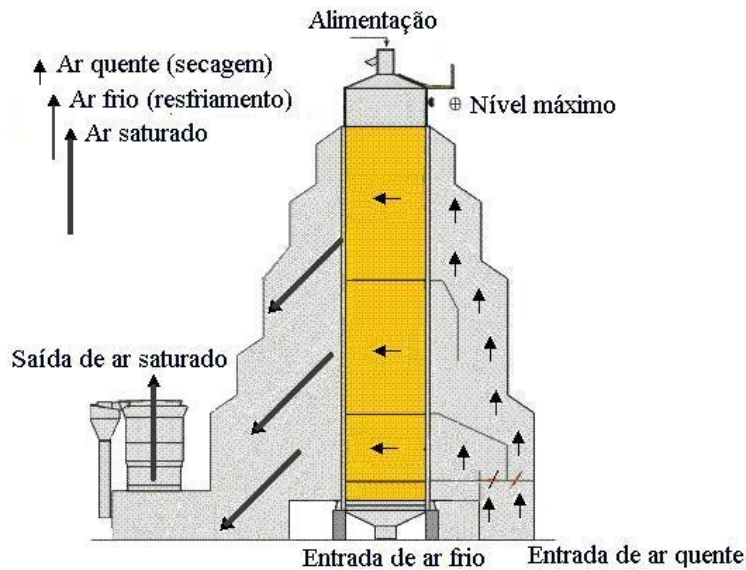


Figura 2.5. Regulagem das entradas de ar quente no secador.

Na Figura 2.5, durante o processo de secagem, toda a torre de secagem será utilizada como câmara de secagem, inclusive na recirculação do produto, em que o mesmo conservará a carga térmica da passada anterior no secador.

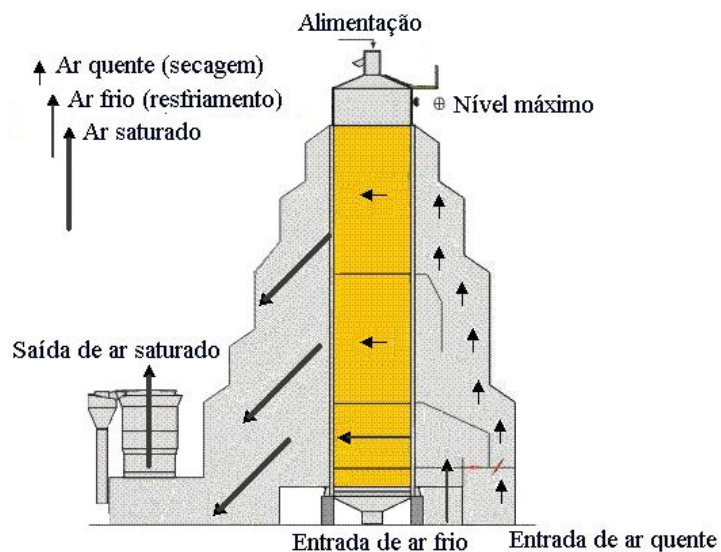


Figura 2.6. Regulagem das entradas de ar quente e frio no secador.

De acordo com a Figura 2.6, no sistema de secagem adotado, a torre de secagem do secador é dividida em um terço para resfriamento e dois terços para secagem, em um procedimento em que as entradas de ar frio da câmara de resfriamento sempre estarão abertas, permitindo, assim, que o produto seja resfriado para ser armazenado posteriormente.

No Quadro 2.7, são apresentadas as principais características dos secadores em estudo.

Quadro 2.7. Dimensões físicas dos secadores

|                             | Câmara de secagem (m) | Câmara de resfriamento (m) | Câmara de repouso (m) |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Altura                      | 13,60                 | 4,50                       | 0,90                  |
| Largura                     | 4,40                  | 4,40                       | 4,40                  |
| Comprimento                 | 1,90                  | 1,90                       | 1,90                  |
| Espaçamento entre canaletas | 0,30                  | 0,30                       | 0,30                  |
| Base da canaleta            | 0,12                  | 0,12                       | 0,12                  |
| Altura dos módulos          | 0,90                  | 0,90                       | 0,90                  |

### **Fontes complementares de energia**

O aquecimento do ar foi feito por fornalhas à lenha, em fogo direto. Por meio da fornalha e do sistema de ventilação, era fornecida uma carga calorífica inferior a nominal equivalente a 4,18 MW térmicos (3.600.000 kcal h<sup>-1</sup>). A fornalha era alimentada de forma manual. Para a realização dos testes de secagem, a alimentação da fornalha foi feita de acordo com a temperatura do ar de secagem, de tal forma que a temperatura do ar de secagem variasse no máximo de  $100 \pm 10^\circ\text{C}$ .

### **Avaliação de fornalhas de fogo direto para combustíveis sólidos**

Foram medidos e coletados alguns parâmetros da fornalha, tais como: (i) área externa da fornalha; (ii) área de grelha; (iii) localização das entradas de ar primário e secundário, bocas de alimentação e cinzeiro; (iv) tipo de grelha; (v) fabricante da fornalha; (vi) dados nominais da fornalha; (vii) velocidade do ar nas portas de alimentação, cinzeiro e entradas de ar primário e secundário; e (viii) consumo de lenha.

### **Análise do combustível lenha - Determinação do teor de água e do poder calorífico da lenha utilizada para secagem**

#### 1) Coleta da amostra

As toras foram escolhidas, ao acaso, nas leiras de eucaliptos da unidade armazenadora. As amostras de eucalipto foram coletadas na parte superior e no meio da leira de lenha e de madeira rachada. As leiras de lenha não estavam cobertas com lona.

As toras de eucalipto de 1,10 m de comprimento foram cortadas em sua seção transversal em 4 partes de, aproximadamente, 0,04 m de espessura cada.

#### 2) Secagem das amostras

As amostras foram secadas em estufa ( $102 \pm 2^\circ\text{C}$ ) até atingir peso constante.

- 3) Preparação das amostras para determinação do poder calorífico superior (PCS)  
Para as três amostras (superficial velha, meio da leira nova e lenha rachada) foram feitas cissões centrais, que passassem necessariamente pela casca, lenho e pela casca outra vez, nas quatro partes de cada amostra (Figura 2.7).

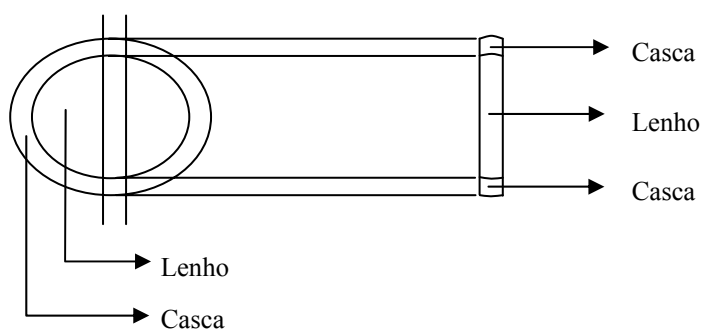


Figura 2.7. Partes da lenha atingida pelo corte.

Após retirada a parte central de cada seção transversal das várias partes da amostra, esta foi picada em pedaços de seção transversal com cerca de 3 x 3 cm, a fim de levar este material para moagem.

- 4) Moagem

Os cavacos de madeira (3 x 3 cm) foram colocados um a um, no moinho. O total de cavacos moídos foi em torno de 100 gramas e destas 100 gramas foram separadas 10 g para a análise. O produto moído, reservado para análise, foi aquele que passou no jogo de peneiras de 40 mesh e ficou retido na peneira de 60 mesh. Esse material retido na peneira de 40 mesh ( $\pm 10$  g) foi colocado para secar em estufa, durante 2 horas, para posterior determinação do poder calorífico superior em bomba calorimétrica.

#### **Massa específica básica ( $\rho_{Bas}$ )**

A massa específica da lenha foi determinada, de acordo com a metodologia proposta por Gatto et al. (2003).

Para obtenção da massa específica básica, as amostras já picadas em partes de médias de 3 cm x 3 cm x 1 cm foram, primeiramente, submersas em água até que atingissem peso constante e, posteriormente, mediu-se o volume pelo método do deslocamento por imersão em água. Para tanto, utilizou-se uma proveta com capacidade de um litro, preenchida com 800 mL de água, e uma balança eletrônica. Cada corpo-de-

prova foi submerso no líquido, medindo-se a massa de água deslocada pela madeira, a qual foi considerada igual a seu volume.

Após a obtenção do volume, colocaram-se os corpos-de-prova em uma estufa a 103°C até atingirem peso constante, sendo, então, pesados novamente, obtendo-se a massa seca correspondente. Tanto a massa seca como quanto o volume foram registrados em formulário específico para cada corpo-de-prova.

A massa específica básica foi calculada por meio da seguinte equação:

$$\rho_{\text{Bas}} = \frac{P_o}{V_u} \quad (2.69)$$

em que

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Bas}} &= \text{massa específica básica, g cm}^{-3}; \\ P_o &= \text{massa seca, g; e} \\ V_u &= \text{volume úmido, cm}^3. \end{aligned}$$

Foi feita também análise da variação da massa específica da lenha em função do tempo de armazenamento. Foram coletadas amostras de lenha nova e velha, sendo que a lenha nova foi do tipo rachada ou não rachada. As coletas de amostras foram feitas na superfície das leiras.

## **Monitoramento de variáveis no processo de secagem**

### **Temperatura**

As temperaturas da câmara neutra (espaço de transição entre a câmara de secagem e a câmara de resfriamento), da câmara de secagem (mistura de ar e grãos) e da câmara de exaustão foram monitoradas por termorresistências tipo PT-100 acoplado a um termômetro multiponto (4), modelo CSI – 2601. As temperaturas do ar de secagem, de resfriamento e de exaustão foram medidas por meio de um termômetro digital.

As medidas de temperatura do ar ambiente foram feitas, usando-se psicrômetro aspirado, conforme os padrões técnicos recomendados, na área de experimentação, cujas leituras eram feitas em graus Celsius.

### **Vazão de ar**

A circulação de ar foi feita por sucção, utilizando-se um ventilador centrífugo, de pás retas voltadas para frente, com vazão de ar de 63.000 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (informação do fabricante) e pressão estática medida nas várias partes dos secadores. A vazão de ar utilizada foi a nominal, fornecida pelo fabricante.

Foram construídos pontos de medidas de pressão estática nas câmaras de secagem, resfriamento e exaustão, sendo as medidas feitas com a utilização de um manômetro não comercial, cujas leituras basearam-se em equivalência de coluna de água.

A velocidade do ar na entrada da fornalha e no ciclone, foi medida com um anemômetro de pás e um de fio quente, em um reticulado que foi colocado nos pontos de medição. Estes pontos de medição estavam localizados em todas as entradas de ar primário e secundário da fornalha e nas entradas de ar do corpo do ciclone.

### **Umidade relativa do ar e teor de água dos grãos**

Na área experimental, a umidade relativa do ar ambiente foi medida por meio de um psicrômetro aspirado, conforme os padrões técnicos recomendados, sendo as leituras das temperaturas de bulbo úmido e bulbo seco feitas em graus Celsius, para posterior determinação da umidade relativa.

O teor de umidade dos grãos foi medido no Edabo. Este equipamento fornece um resultado semelhante ao método oficial da estufa. As amostragens na recepção do produto foram feitas de uma subamostra de produto retirado da moega de recepção, sendo que, essas amostragens foram feitas com a utilização de um balde metálico nas bicas de descarga das carretas. Também foram feitas amostragens para o controle de secagem no compartimento de descarga do secador utilizando-se um recipiente plástico. Os equipamentos recomendados pelo Ministério da Agricultura, amostrador pneumático manual ou com introdução hidráulica, divisor e homogeneizador de amostras, não foram utilizados.

Paralelamente às medidas de umidade no Edabo, utilizou-se, ainda, um determinador eletrônico Motonco no controle do operador do secador e um aparelho eletromecânico, Universal para controle do produto na recepção da unidade armazenadora. Adotou-se esse procedimento a fim de acompanhar a redução de umidade do produto durante a secagem, tendo em vista que estes aparelhos fornecem leituras imediatas.

A umidade da madeira, utilizada como combustível, foi medida em estufa a  $103 \pm 2$  °C, durante 48 horas.

## Energia

Estimou-se a energia necessária ao aquecimento do ar de secagem, baseando-se no poder calorífico inferior e massa do combustível lenha. O poder calorífico foi obtido em bomba calorimétrica no laboratório de Energia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. A massa de combustível utilizada para cada teste de secagem foi obtida por pesagem direta, utilizando balança rodoviária, com capacidade de pesagem de  $50.000 \pm 1$  kg. A energia necessária para movimentação dos transportadores e máquinas de limpeza e de pré-limpeza foi estimada por meio da medição da corrente elétrica no estator, medida com um multímetro alicate. O consumo de energia elétrica foi calculado, considerando-se o tempo operacional para realização dos trabalhos de movimentação do produto e do ar de secagem. Para corrigir o fator de potência, havia bancos de capacitores de característica localizada e, ou centralizada, que atendiam motores isolados ou à totalidade das cargas elétricas das unidades armazenadoras, respectivamente.

## Fluxo e massa específica dos grãos

O fluxo de grãos no secador de fluxo misto foi estimado, a partir da medida do tempo necessário para o transporte de 60 t de grãos e da determinação da massa específica do produto. Desta forma, o fluxo pode ser estimado por

$$F = \frac{m}{t \rho} \quad (2.70)$$

em que

- F = fluxo de saída de grãos no secador,  $m^3 \text{ min}^{-1}$ ;
- m = massa total de grãos no secador, kg;
- t = tempo de passagem dos grãos numa passada no secador, min; e
- $\rho$  = massa específica do produto,  $\text{kg m}^{-3}$ .

A Equação 2.69 mostra a relação da variação da massa específica com o teor de água (ANDRADE et al., 2004). A massa específica foi estimada em intervalos de tempo de 30 minutos.

$$\rho = -0,3434 U^2 + 5,9571 U + 702,76 \quad (2.71)$$

em que

- $\rho$  = massa específica,  $\text{kg m}^{-3}$ ; e
- U = teor de água, % b.u..

## Análise do sistema de secagem

### Secadores

Os secadores do tipo torre de fluxos mistos utilizados foram instrumentados com termômetros encapsulados (Figura 2.8).

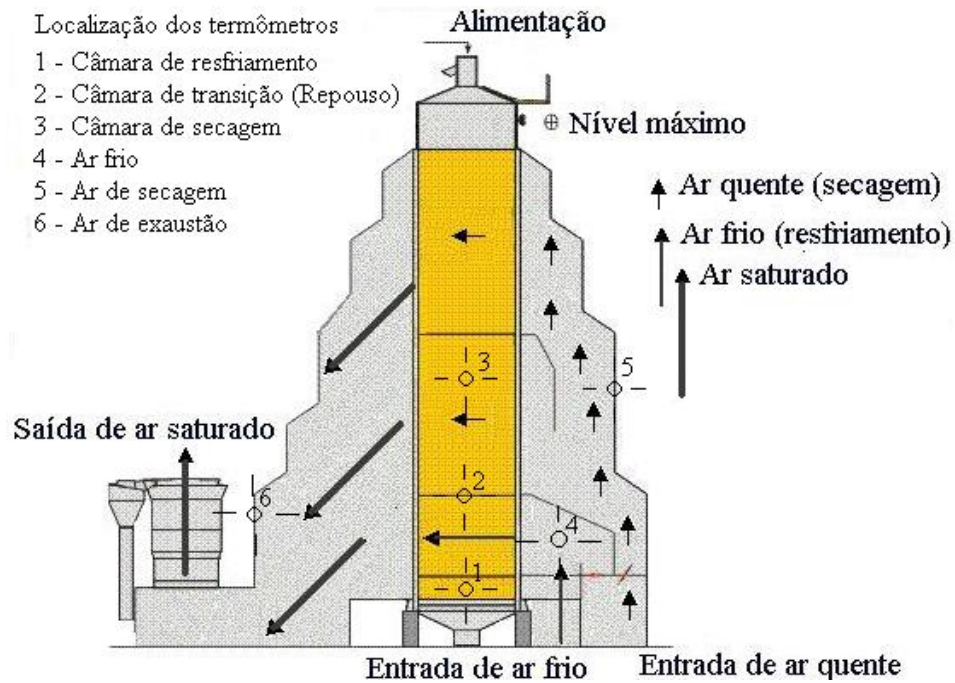


Figura 2.8. Localização dos termômetros nos secadores.

Esses termômetros estavam localizados nas câmaras de secagem, repouso, resfriamento e exaustão. Sendo que: (i) os termômetros, que foram colocados nas câmaras de secagem, resfriamento e de repouso, estavam localizados no centro das respectivas câmaras e ficavam diretamente em contato com o produto em movimento; (ii) o termômetro, que foi colocado na câmara de exaustão, estava localizado na lateral do corpo do secador; e (iii) já havia termômetros instalados na entrada de ar frio e ar quente, cujas medidas também foram utilizadas.

### Processo de Secagem

#### - Secagem em lotes em secador do tipo torre de fluxos mistos

A secagem em fluxos mistos foi conduzida, de acordo com o procedimento predefinido. Toda a torre de secagem foi utilizada na secagem, como câmara de secagem do secador.

A temperatura utilizada para o ar de secagem no secador de fluxos mistos foi de  $100 \pm 10$  °C.

A energia consumida para aquecer o ar de secagem foi determinada, pela pesagem da massa de lenha gasta no processo de secagem, para isso, a lenha era pesada antes e depois do processo de secagem de um lote de grãos. A lenha estava armazenada em uma carreta que podia ser deslocada até a balança rodoviária para pesagem.

O resfriamento da massa de grãos foi feito, conforme indicado pelos fabricantes dos secadores.

No início do teste de secagem, foi cronometrado o tempo de carga do secador. Após o enchimento do secador, a fornalha foi acesa. Inicialmente media-se

### Consumo de energia e eficiência de secagem

O consumo de energia e eficiência de secagem foi feito segundo Lopes et al. (2000b). O consumo de energia específico foi definido como sendo a quantidade de energia, por unidade de massa, necessária à remoção da água nos grãos. A eficiência de secagem foi definida como a razão entre a quantidade de energia necessária à remoção da água do grão e a energia total utilizada pelo secador. Desta forma, o consumo específico de energia foi dado por

$$C_{ee} = \frac{E_e + C_c \text{ PCI}}{H_e} \quad (2.72)$$

em que

- $C_{ee}$  = consumo específico de energia,  $\text{kJ kg}^{-1}$ ;
- $E_e$  = consumo de energia elétrica,  $\text{kJ}$ ;
- $C_c$  = consumo de energia (lenha),  $\text{kJ}$ ;
- $\text{PCI}$  = poder calorífico inferior do combustível;  $\text{kJ kg}^{-1}$  e;
- $H_e$  = quantidade de água evaporada;  $\text{kg de água}$ .

A quantidade de água total a ser evaporada foi calculada por

$$M_a = M_p \left( \frac{U_i - U_f}{100 - U_f} \right) 100 \quad (2.73)$$

em que

- $M_a$  = massa de água total a ser evaporada,  $\text{kg de água}$ ;
- $M_p$  = massa de produto total,  $\text{kg}$ ;
- $U_i$  = teor inicial de água do grão; % b.u.; e
- $U_f$  = teor final de água do grão; % b.u.

A eficiência do secador foi dada por

$$\eta = \frac{M_a L}{C_{ee} + C_L PCI} 100 \quad (2.74)$$

em que

- $\eta$  = rendimento do secador, %;
- $L$  = calor latente de vaporização da água (2500), kJ kg de água;
- $C_{ee}$  = consumo de energia elétrica, kJ;
- $C_L$  = consumo de lenha total, kg; e
- $PCI$  = poder calorífico inferior do combustível; kJ kg<sup>-1</sup>.

### Parâmetros de avaliação do sistema de secagem

Conforme Bakker-Arkema et al. (1978) e Silva (2000), os parâmetros que foram considerados na avaliação de desempenho dos secadores foram:

- a) Parâmetros dos grãos: (i) tipo de grãos; (ii) teor inicial de água, b.s.; (iii) teor final de água, b.s.; (iv) temperatura de entrada, °C; (v) temperatura de saída, °C; (vi) teor de impurezas, %; (vii) massa específica antes e após a secagem, kg m<sup>-3</sup>; (viii) análise da qualidade inicial e final; e (ix) quantidade de produto úmido, kg. A quantidade de produto úmido considerado foi igual a capacidade dinâmica do secador, 60 t, em um período de uma hora.
- b) Parâmetros do ar: (i) temperatura do ar utilizado na secagem, °C; (ii) temperatura do ambiente, °C; e (iii) umidade relativa do ambiente, %.
- c) Especificações do secador: (i) vazão de ar, m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup> de grãos; (ii) vazão de grãos, m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>; (iii) tempo de resfriamento, h ou altura da coluna de resfriamento, m; (iv) pressão estática, mmca; (v) tempo de carga, h; e (vi) tempo de descarga, h.
- d) Energia utilizada: (i) para acionar o ventilador, kWh; (ii) para aquecimento do ar, kJ; e (iii) para movimentação de grãos, kWh.
- e) Dados de desempenho do secador: (i) duração do teste, h; ou por volume do secador, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; (ii) redução do teor de água do produto, %; (iii) eficiência energética, incluída eletricidade, kJ kg<sup>-1</sup>; e (iv) eficiência energética, excluindo eletricidade, kJ kg<sup>-1</sup>.
- f) Simulação do secador do tipo torre de fluxos mistos, utilizando o modelo de Thompson, a partir da utilização do programa computacional “Scascata”.

A simulação do secador tipo torre de fluxos mistos, que completa a metodologia de Bakker-Arkema et al. (1978), foi feita utilizando-se o programa computacional de simulação “Scascata”, desenvolvido por (Queiroz, 2006) utilizando o modelo de

simulação de Thompson. O programa computacional “Scascata” realiza a simulação de secadores tipo cascata com e sem reaproveitamento do ar. A simulação da operação de secagem pode ser simulada em secadores tipos cascata com um estágio de secagem e um de resfriamento ou dois estágios de secagem e um de resfriamento. Podem ser realizadas simulações com os seguintes produtos agrícolas: milho, milho em espiga e soja; e ainda, o programa utiliza todas as variáveis associadas ao processo para poder realizar a simulação da secagem (Queiroz et al., 2005).

### **Custo operacional de secagem**

O programa computacional “Custo de secagem de grãos em secador tipo cascata”, desenvolvido por Queiroz e Valente (2004), calcula o custo de secagem (Figura 2.9).

No programa, pode-se escolher entre várias opções, dentre elas citam-se:

- 1) escolha de quatro produtos: soja ou milho, trigo e arroz.
- 2) dados sobre o teor de água do produto: teor inicial de água e final do produto.
- 3) tipo de secador: com ou sem reaproveitamento do ar de secagem, ou com reaproveitamento duplo de ar.
- 4) fonte de aquecimento do ar: tipo de combustível, preço do combustível, e outros.
- 5) dados gerais sobre o sistema de secagem: capacidade de secagem; potência total dos sistemas de movimentação de grãos e de ar; tempo de utilização ( $\text{h ano}^{-1}$ ); vida útil do secador e transportadores (ano); e vida útil do queimador/fornalha (ano).
- 6) demais dados para análise econômica: preço de aquisição do sistema de secagem excluindo a fornalha; preço de aquisição do queimador/fornalha; valor de sucata; juros sobre o capital médio investido; taxas de seguro, impostos e alojamento; reparos e manutenção de secador/transportadores; reparos e manutenção do queimador/fornalha; salários da mão-de-obra direta; encargos sociais; valor do salário total do pessoal administrativo; e rateio do salário do pessoal administrativo para o sistema de secagem e preço da energia elétrica.

**Custo de Secagem de Grãos em Secador Tipo Cascata**

**Escolha o produto:**  
 Produto: Milho

**Dados sobre o produto:**  
 Teor de umidade inicial (% b.u.): 25.00  
 Teor de umidade na saída do secador: 13% b.u.

**Tipo de secador:**  
 Com reaprov. do ar de resfriamento

**Fonte de aquecimento do ar:**  
 Combustível: Lenha  
 Poder calorífico (kJ/kg): 12500.00  
 Preço da lenha (R\$/t): 50.00

**Dados gerais sobre o sistema de secagem:**

|   |      |
|---|------|
| Capacidade nominal de secagem (t/h)                               | 20.0 |
| Potência total dos sistemas de movimentação de grãos e de ar (cv) | 29.0 |
| Tempo de utilização (horas/ano)                                   | 1800 |
| Vida útil do secador e transportadores (anos)                     | 20   |
| Vida útil do queimador/fornalha (anos)                            | 20   |

**Demais dados para análise econômica:**

|  |           |
|--|-----------|
| Preço aquisição sistema secagem excluindo queimador/fornalha (R\$)           | 100000.00 |
| Preço aquisição queimador/fornalha (R\$)                                     | 20000.00  |
| Valor de sucata (% preço de aquisição)                                       | 10.0      |
| Juros sobre o capital médio investido (% ao ano)                             | 9.0       |
| Taxas de seguro, impostos e alojamento (% preço de aquisição)                | 2.0       |
| Reparos e manutenção secador/transportadores (% preço aquisição/ano)         | 3.00      |
| Reparos e manutenção da fornalha/queimador (% preço de aquisição/ano)        | 3.00      |
| Salários da mão-de-obra direta (R\$/mês)                                     | 500.00    |
| Encargos sociais (% salário)   | 70        |
| Horas trabalhadas por mês por trabalhador                                    | 176       |
| Valor do salário total do pessoal administrativo (R\$/mês)                   | 1500.00   |
| Rateio salário pessoal administrativo para o sistema de secagem (% do total) | 15.0      |
| Preço da energia elétrica (R\$/kW.h)   | 0.30      |

Calculat | Salvar no Excel | Terminar

**Desenvolvido por:**  
 Daniel Marçal de Queiroz  
 Domingos Sárvio M. Valente

**CENTREINAR**  
[www.centreinar.org.br](http://www.centreinar.org.br)

Figura 2.9. Tela de apresentação do programa computacional “Custo de secagem de grãos em secador tipo cascata”.

### Avaliação da qualidade do produto

Conforme os padrões de classificação estabelecidos para a comercialização do milho, o produto, após a secagem, foi submetido ao teste qualidade de índice de trincas. Entretanto o produto não foi novamente classificado após a secagem.

### 2.4.2. Estudos de caso – Aplicação da metodologia, em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia

A metodologia proposta foi aplicada em duas unidades armazenadoras da CAROL, considerando-se seus equipamentos, fluxo de produtos na safra e, ou safrinha e funcionários.

## 2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1. Unidade armazenadora de Ituverava

A unidade armazenadora localizada na cidade de Ituverava tem capacidade estática de armazenagem para 35.000 toneladas de grãos, armazenando soja e milho na safra e milho e sorgo na safrinha agrícola. Esta unidade armazenadora possui uma capacidade de secagem de  $120 \text{ t h}^{-1}$ .

A Figura 2.10 apresenta uma visão geral da unidade armazenadora de Ituverava.



Figura 2.10. Vista aérea da unidade armazenadora de Ituverava, SP.

A seguir, é apresentado o fluxograma da unidade armazenadora de Ituverava com todas as alternativas de transporte de grãos para linhas de produto úmido e de produto seco (Figura 2.11). Em cada linha de processamento, podem-se observar os equipamentos a ser acionados no processo de secagem e armazenamento. O Quadro 2.8 apresenta a legenda para este fluxograma.

Quadro 2.8. Legenda para o fluxograma da Figura 2.11

| Legenda         | Descrição                                    |
|-----------------|--|
| M               | = Moega                                      |
| EL              | = Elevador de caçamba                        |
| ELs             | = Elevador de caçamba do secador             |
| ML              | = Máquina de limpeza                         |
| MPL             | = Máquina de pré-limpeza                     |
| S               | = Secador                                    |
| FT              | = Fita transportadora                        |
| Gran            | = Silo graneleiro                            |
| FT <sub>i</sub> | = Fita transportadora inferior do graneleiro |
| FT <sub>s</sub> | = Fita transportadora superior do graneleiro |

O Quadro 2.9 mostra as características técnicas e dados nominais dos equipamentos em estudo no fluxograma da Figura 2.11.

Quadro 2.9. Dados nominais dos equipamentos em estudo para o produto soja em grãos (Continua)

|         | Capacidade de transporte | Velocidade de transporte | Distância de transporte | Massa específica do produto | Caçambas por metro  | Motorização |
|---------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------|
|         | t h <sup>-1</sup>        | rpm                      | m                       | kg m <sup>-3</sup>          | caç m <sup>-1</sup> | kW (cv)     |
| EL 1    | 120                      | 92                       | 17                      | 750                         | 12,5                | 9,2 (12,5)  |
| EL 2    | 80                       | 92                       | 35                      | 750                         | 5,0                 | 14,72 (20)  |
| EL 3    | 80                       | 92                       | 35                      | 750                         | 5,0                 | 14,72 (20)  |
| EL 4    | 80                       | 92                       | 39                      | 750                         | 5,0                 | 14,72 (20)  |
| EL 5    | 80                       | 92                       | 39                      | 750                         | 5,0                 | 14,72 (20)  |
| ELsec 6 | 80                       | 92                       | 39                      | 750                         | 5,0                 | 14,72 (20)  |
| EL 7    | 120                      | 92                       | 27                      | 750                         | 12,5                | 14,72 (20)  |
| EL 8    | 80                       | 92                       | 35                      | 750                         | 5,0                 | 14,72 (20)  |
| EL 9    | 120                      | 92                       | 27                      | 750                         | 12,5                | 14,72 (20)  |
| EL 10   | 120                      | 92                       | 27                      | 750                         | 12,5                | 14,72 (20)  |
| EL 11   | 50                       | 119                      | 27                      | 750                         | 5                   | 3,68 (5)    |
| EL 12   | 120                      | 92                       | 27                      | 750                         | 12,5                | 14,72 (20)  |
| EL 13   | 200                      | 65,5                     | 44                      | 750                         | 10,0                | 50 (36,8)   |

Quadro 2.9. Dados nominais dos equipamentos em estudo para o produto soja em grãos  
(Continuação)

|            | Capacidade de transporte             | Velocidade de transporte               | Distância a ser percorrida pelo transportador | Massa específica do produto    | Largura da fita transportadora       | Motorização     |
|------------|--------------------------------------|--|---|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
|            | t h <sup>-1</sup>                    | rpm                                    | m   | kg m <sup>-3</sup>             | m                                    | kW (cv)         |
| FT 01      | 120                                  | 106                                    | 54,0  | 750                            | 0,61                                 | 3,68 (5)        |
| FT 02      | 120                                  | 106                                    | 37,0  | 750                            | 0,61                                 | 3,68 (5)        |
| FT 03      | 120                                  | 106                                    | 19,5  | 750                            | 0,61                                 | 1,47 (2)        |
| FTs 04     | 120                                  | 106                                    | 94,0  | 750                            | 0,61                                 | 5,52 (7,5)      |
| FTi 05     | 200                                  | 127                                    | 100,0   | 750                            | 0,61                                 | 7,36 (10)       |
| FT 06      | 120                                  | 106                                    | 31,0  | 750                            | 0,61                                 | 2,21 (3)        |
| FT 07      | 120                                  | 106                                    | 26,0  | 750                            | 0,61                                 | 2,21 (3)        |
| FT 08      | 120                                  | 106                                    | 22,5  | 750                            | 0,61                                 | 3,68 (5)        |
| FT 09      | 120                                  | 106                                    | 23,0  | 750                            | 0,61                                 | 1,47 (2)        |
|            | Capacidade de limpeza                | Velocidade de funcionamento - exaustor | Velocidade de funcionamento - peneiras        | Massa específica do produto    | Área de peneiras / movidas por molas | Motorização     |
|            | t h <sup>-1</sup>                    | rpm                                    | rpm   | kg m <sup>-3</sup>             | m <sup>2</sup>                       | kW (cv)         |
| MPL 1      | 40                                   | -                                      | -   | -                              | 1,65                                 | 10 + 5          |
| MPL 2      | 40                                   | -                                      | -   | -                              | 1,65                                 | 10 + 5          |
| MPL 3      | 40                                   | -                                      | -   | -                              | 1,65                                 | 10 + 5          |
| MPL 4      | 40                                   | -                                      | -   | -                              | 1,65                                 | 10 + 5          |
| ML 1       | 40                                   | -                                      | -   | -                              | 1,65                                 | 10 + 2,5        |
| ML 2       | 40                                   | -                                      | -   | -                              | 1,65                                 | 10 + 2,5        |
| ML 3       | 40                                   | -                                      | -   | -                              | 1,65                                 | 10 + 2,5        |
| ML 4       | 40                                   | -                                      | -   | -                              | 1,65                                 | 10 + 2,5        |
|            | Capacidade de secagem                | Câmara de secagem                      | Câmara de resfriamento                        | Vazão de ar                    | Tipo de ventilador                   | Motorização     |
|            | t h <sup>-1</sup>                    | m                                      | m   | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> |                                      | kW (cv)         |
| S1         | 60                                   | 13,60                                  | 4,50  | 63.000                         | centrífugo                           | 73,6 (100)      |
| S2         | 60                                   | 13,60                                  | 4,50  | 63.000                         | centrífugo                           | 73,6 (100)      |
|            | Fabricante                           | Tipo de fornalha                       | Capacidade                                    | Consumo de lenha               | Área de grelha                       | Tipo de grelha  |
|            |                                      |  | kJ h <sup>-1</sup>                            | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> | m <sup>2</sup>                       |                 |
| Fornalha 1 | Maringá                              | Fogo direto                            | 14,83 x 10 <sup>6</sup>                       | 2,66                           | 5,4                                  | plana           |
| Fornalha 2 | Maringá                              | Fogo direto                            | 14,83 x 10 <sup>6</sup>                       | 2,66                           | 5,4                                  | plana           |
|            | Capacidade estática de armazenamento | Nº de septos                           | Largura                                       | Comprim.                       | Altura                               | Tipo de aeração |
|            | t                                    | adm                                    | m   | m                              | m                                    |                 |
| Graneleiro | 35.000                               | 2                                      | 35  | 110                            | ± 20                                 | túnel           |

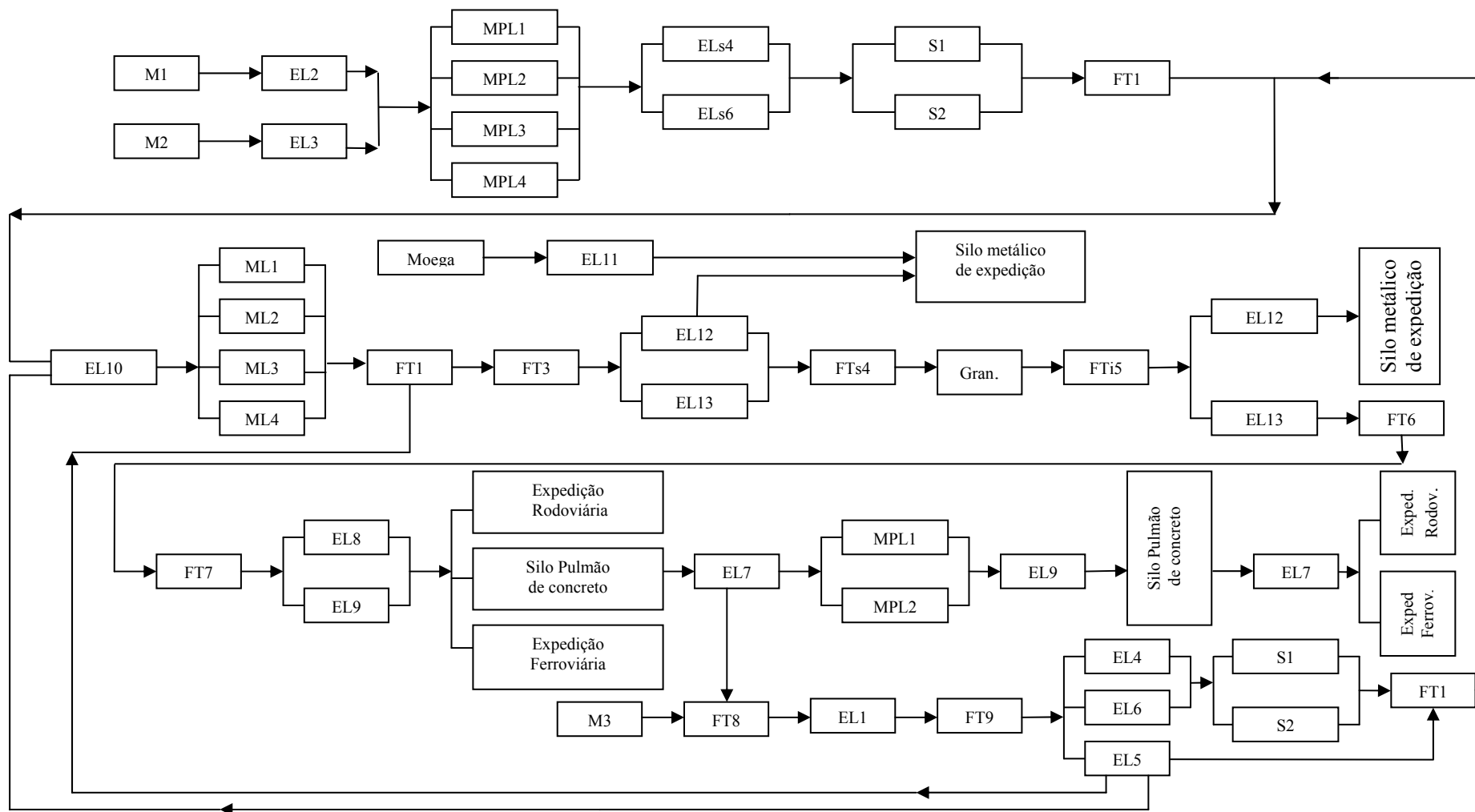


Figura 2.11. Fluxograma operacional da unidade de Ituverava

De acordo com a Figura 2.11, no recebimento de grãos, foram observadas as seguintes situações:

- a) Não há a separação de linhas de fluxo de produtos agrícolas, sendo que, alguns caminhões podiam trazer produtos úmidos e outros produtos praticamente secos, ambos descarregando nas mesmas duas moegas.
- b) O layout da unidade armazenadora possibilitava descarregar o produto nas duas moegas, bem como a alimentação dos elevadores de caçambas EL2 e EL3 e estes à alimentação das máquinas de pré-limpeza MPL1, MPL2, MPL 3 e MPL 4 conjuntamente .
- c) Foi observado que este processo de secagem, não proporcionava a uniformidade dos grãos secados, podendo, assim, dificultar o processo de conservação de grãos, pois, numa mesma massa de grãos secados poderia haver, por exemplo, no caso do milho, grãos com teor de água na faixa de 11 a 15 %, quando o desejado seria o milho com 13% de teor de água.
- d) Outro problema observado nesta unidade foi a super secagem de um lote de milho, que estava com o teor de água na faixa de 9 a 12%, devido ao preenchimento da carga do secador com produto que estava na moega com um teor inicial de água próximo ao teor de água de armazenamento e foi misturada com grãos úmidos, que já estavam na mesma moega.
- e) Desta forma, a capacidade de secagem é diminuída, o gasto energético aumentado e a uniformidade de secagem é ruim, aumentando, assim, os problemas relacionados à operação de aeração.

### **Transporte**

Considerando a linha de processamento de produto do secador 2, fez-se uma estimativa do gasto de energia no sistema de transporte para a secagem de um lote de 60 t de milho.

O Quadro 2.10 indica o consumo e o gasto com energia elétrica dos transportadores, envolvidos na linha de processamento do secador 2.

Quadro 2.10. Consumo e gasto com energia elétrica na linha de processamento do secador 2 com transportadores

| Equipamento   | Potência<br>cv | Altura de elevação<br>ou distância de<br>transporte<br>m | Capacidade<br>de transporte<br>nominal<br>t h <sup>-1</sup> | Tempo<br>de<br>operação<br>h | Consumo<br>kWh | Custo<br>R\$ lote <sup>-1</sup> |
|---|----------------|--|---|------------------------------|----------------|---------------------------------|
| Elevadores de caçamba   |                |  |   |                              |                |                                 |
| EL 2  | 20             | 35   | 80  | 1,5                          | 22,08          | 3,09                            |
| EL 3  | 20             | 35   | 80  | 1,5                          | 22,08          | 3,09                            |
| EL 6  | 20             | 39   | 80  | 3                            | 44,16          | 6,18                            |
| EL 10   | 15             | 23   | 120   | 3                            | 33,12          | 4,64                            |
| EL 13   | 50             | 44   | 200   | 3                            | 110,4          | 15,46                           |
|   |                |  |   |                              |                | 32,46                           |
| Fitas transportadoras   |                |  |   |                              |                |                                 |
| FT 1  | 5              | 54   | 120   | 3                            | 11,04          | 1,55                            |
| FT 3  | 2              | 19,5   | 120   | 3                            | 4,416          | 0,62                            |
| FT 4  | 7,5            | 88   | 120   | 3                            | 16,56          | 2,32                            |
|   |                |  |   |                              |                | 6,03                            |
| Total de transportadores (R\$ (lote de 60 t de grãos) <sup>-1</sup> ) |                |  |   |                              |                | R\$ 36,95                       |
| Total de transportadores (R\$ (lote t de grãos) <sup>-1</sup> )       |                |  |   |                              |                | R\$ 0,62                        |
| Tarifa de energia elétrica (R\$ kWh <sup>-1</sup> )                   |                |  |   |                              |                | R\$ 0,14                        |

De acordo com o Quadro 2.10, o gasto com energia elétrica para a secagem de um lote de milho foi de R\$ 32,46 para os elevadores de caçambas (R\$ 0,54 t<sup>-1</sup>); para as fitas transportadoras, R\$ 6,03 (R\$ 0,10 t<sup>-1</sup>). Dessa forma, o custo total com os transportadores da linha de processamento foi de R\$ 36,95 para secagem de um lote de 60 t de milho (R\$ 0,62 t<sup>-1</sup> de milho).

Em geral, observou-se que a utilização da energia para alimentação dos transportadores, nas unidades armazenadores, não segue princípios técnicos de racionalização de energia. Por esta razão, pode ocorrer: (i) maior gasto com energia elétrica nos equipamentos; (ii) maior manutenção nos equipamentos mecânicos; (iii) falta de um plano sistemático de manutenção; (iv) utilização de óleos, graxas e lubrificantes fora das especificações propostas para os equipamentos; e (v) utilização indiscriminada dos equipamentos, sem a adoção de critérios mínimos para acioná-los.

## Redimensionamento de transportadores e avaliação da capacidade de transporte efetivo dos transportadores

Foram estudados os transportadores de grãos da unidade armazenadora (Fitas transportadoras 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9; e elevadores de caçambas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13).

No Quadro 2.11, é apresentada a comparação da potência dos transportadores no projeto original (1) e do redimensionamento desses transportadores (2), considerando-se a literatura técnica pertinente.

Quadro 2.11 Potência demandada nas fitas transportadoras da unidade obtida por diferentes formas

| Equipamento | Potência demandada |       |                       |       |
|-------------|--------------------|-------|-----------------------|-------|
|             | Projeto (1)        |       | Redimensionamento (2) |       |
|             | cv                 | kW    | cv                    | kW    |
| FT 1        | 5,00               | 3,68  | 7,50                  | 5,52  |
| FT 3        | 2,00               | 1,47  | 4,00                  | 2,944 |
| FT 4        | 7,50               | 5,52  | 7,50                  | 5,52  |
| FT 5        | 10,00              | 7,36  | 10,00                 | 7,36  |
| FT 6        | 3,00               | 2,21  | 4,00                  | 2,94  |
| FT 7        | 3,00               | 2,21  | 4,00                  | 2,94  |
| FT 8        | 5,00               | 3,68  | 4,00                  | 2,94  |
| FT 9        | 2,00               | 1,47  | 4,00                  | 2,94  |
| Total       | 37,50              | 27,60 | 45,00                 | 33,12 |

De acordo com o Quadro 2.11, para as fitas transportadoras da unidade armazenadora, a potência demandada de projeto (1) foi igual a 27,6 kW (37,5 cv) e a potência demandada pelo redimensionamento (2), utilizando a literatura técnica com um coeficiente de segurança de 15%, além dos coeficientes já embutidos nas formulações, foi de 33,12 kW (45 cv). De posse destes valores de potência demandada, fica assegurado que as potências de projeto para as fitas transportadoras estão coerentes com a técnica de dimensionamento de transportadores, sem a adoção de 15% do coeficiente de segurança, no caso estudado e mantendo-se os coeficientes de segurança já embutidos nas equações técnicas utilizadas.

O Quadro 2.12 mostra a comparação entre diretas formas de dimensionamento dos elevadores de caçambas. A opção (1) mostra os dados de projeto dos elevadores; a opção (2) considera o redimensionamento dos elevadores, considerando a literatura técnica, inclusive com a adoção de coeficientes de segurança e a opção (3) considera o redimensionamento dos elevadores, considerando a literatura técnica, dados medidos no

ato da operação de transporte, e dados de transporte para a capacidade máxima, considerando também a adoção de coeficientes de segurança.

Quadro 2.12. Potência demandada em elevadores de caçamba da unidade armazenadora obtida por diferentes formas

| Equipamento          | Projeto original (1) |        | Redimensionamento técnico (2) |        | Redimensionamento com dados reais máximos (3) |        |
|----------------------|----------------------|--------|-------------------------------|--------|---|--------|
|                      | Potência             |        | Potência                      |        | Potência                                      |        |
|                      | cv                   | kW     | cv                            | kW     | cv  | kW     |
| EL 02                | 20,00                | 14,72  | 12,50                         | 9,20   | 25,00   | 18,40  |
| EL 03                | 20,00                | 14,72  | 12,50                         | 9,20   | 25,00   | 18,40  |
| EL <sub>s</sub> 04   | 20,00                | 14,72  | 15,00                         | 11,04  | 25,00   | 18,40  |
| EL 05                | 20,00                | 14,72  | 15,00                         | 11,04  | 20,00   | 14,72  |
| EL 10                | 20,00                | 14,72  | 15,00                         | 11,04  | 15,00   | 11,04  |
| EL 12                | 20,00                | 14,72  | 40,00                         | 29,44  | 25,00   | 18,40  |
| EL 15                | 50,00                | 36,80  | 40,00                         | 29,44  | 50,00   | 36,80  |
| EL <sub>sec</sub> 06 | 20,00                | 14,72  | 12,50                         | 9,20   | 20,00   | 14,72  |
| EL 08                | 20,00                | 14,72  | 12,50                         | 9,20   | 20,00   | 14,72  |
| EL 09                | 20,00                | 14,72  | 15,00                         | 11,04  | 15,00   | 11,04  |
| EL 07                | 20,00                | 14,72  | 15,00                         | 11,04  | 15,00   | 11,04  |
| EL 01                | 12,50                | 9,20   | 10,00                         | 7,36   | 10,00   | 7,36   |
| EL 11                | 5,00                 | 3,68   | 7,50                          | 5,52   | 6,00  | 4,42   |
| Total                | 267,50               | 196,88 | 222,50                        | 163,76 | 271,00  | 199,46 |

De acordo com o Quadro 2.12, para os elevadores de caçambas da unidade armazenadora, a potência demandada de projeto (1) foi igual a 196,88 kW (267,5 cv), enquanto a potência demandada pelo redimensionamento utilizando a literatura técnica (2) com um coeficiente de segurança de 15%, foi de 163,76 kW (222,5 cv). No dimensionamento, foram considerados os dados coletados do transportador em operação com 100% de carga nas caçambas e rotação de trabalho com a carga diária (3) com a adoção de coeficiente de segurança de 15%, a potência demandada, nesta situação, foi igual a 199,46 kW (271 cv).

A potência demandada máxima dos elevadores de caçambas (3) foi de 199,46 kW e nenhuma outra situação poderia ser superior a esta, para as condições do experimento, o que de fato não aconteceu. Entretanto, a demanda do projeto original foi praticamente igual à potência demandada máxima dos elevadores de caçambas (1), ou seja, 196,88 kW (267,5 cv). Em comparação com a opção do redimensionamento dos elevadores de caçamba (2), que foi de 163,76 kW (222,5 cv), observa-se que, em média, o coeficiente de segurança adotado no projeto original dos elevadores de caçamba foi de

35% ((20%, em relação aos valores dos dois dimensionamentos (1) e (2), adicionando os 15% já inclusos na opção 2)).

### Capacidade efetiva dos transportadores

Nos quadros 2.13 a 2.15, são apresentados três testes de avaliação da capacidade de transporte real dos elevadores de caçamba EL 02 e EL 03 da unidade, que trabalhavam conjuntamente, retirando produto da moega de recepção. Em todas as situações, a abertura da comporta da moega de descarga de grãos variou de 0,18 a 0,21 m de altura, sendo que 0,22 m é a abertura máxima da comporta.

No primeiro teste, os elevadores de caçambas 02 e 03 trabalharam durante um período de 4h e 25 min, no segundo teste, 3 h e no terceiro teste, 8 h e 52 min, em três dias diferentes da semana.

Quadro 2.13. Capacidade de transporte efetiva dos elevadores 02 e 03 com a carga de trabalho diário – teste 1

| Descrição                        |              | Unidade                                     |
|----------------------------------|--------------|---|
| Produto soja úmida e suja        |              |   |
| Massa transportada total         | = 247.337,00 | kg  |
| Teor médio inicial de água       | = 14,80      | % b.u.                                      |
| Teor médio final de água         | = 11,60      | % b.u.                                      |
| Tempo medido total               | = 4,42       | h   |
| Capacidade de transporte         | = 56,00      | t h <sup>-1</sup>                           |
| Capacidade de transporte média   | = 28,00      | (t h <sup>-1</sup> ) elevador <sup>-1</sup> |
| Capacidade de transporte nominal | = 80,00      | t h <sup>-1</sup>                           |

Quadro 2.14. Capacidade de transporte efetiva dos elevadores 02 e 03 com a carga de trabalho diário – teste 2

| Descrição                        |              | Unidade                                     |
|----------------------------------|--------------|---|
| Produto soja úmida e suja        |              |   |
| Massa transportada total         | = 204.850,00 | kg  |
| Teor médio inicial de água       | = 14,90      | % b.u.                                      |
| Teor médio final de água         | = 11,30      | % b.u.                                      |
| Tempo medido total               | = 3,00       | h   |
| Capacidade de transporte         | = 68,28      | t h <sup>-1</sup>                           |
| Capacidade de transporte média   | = 34,14      | (t h <sup>-1</sup> ) elevador <sup>-1</sup> |
| Capacidade de transporte nominal | = 80         | t h <sup>-1</sup>                           |

Quadro 2.15. Capacidade de transporte efetiva dos elevadores 02 e 03 com a carga de trabalho diário – teste 3

| Descrição                        |              | Unidade                                     |
|----------------------------------|--------------|---|
| Produto soja úmida e suja        |              |   |
| Massa transportada total         | = 756.713,00 | kg  |
| Teor médio inicial de água       | = 15,00      | % b.u.                                      |
| Teor médio final de água         | = 11,80      | % b.u.                                      |
| Tempo medido total               | = 8,03       | h   |
| Capacidade de transporte         | = 94,24      | t h <sup>-1</sup>                           |
| Capacidade de transporte nominal | = 80         | t h <sup>-1</sup>                           |
| Capacidade de transporte média   | = 47,12      | (t h <sup>-1</sup> ) elevador <sup>-1</sup> |
| Capacidade de transporte nominal | = 80         | t h <sup>-1</sup>                           |

O resultado da medida individual da capacidade efetiva de movimentação de grãos dos elevadores de caçamba EL 02 e EL 03 da unidade armazenadora de Ituverava, que possuem capacidade nominal de 80 t h<sup>-1</sup>, com base nas condições operacionais estabelecidas durante o experimento, foram de 28, 34 e 47 t h<sup>-1</sup>. Em termos ilustrativos, a utilização da potência de apenas um dos motores seria quase suficiente para realizar a retirada dos grãos das duas moegas. Devido a este problema, ocorreram as seguintes situações:

- (i) os trabalhadores que descarregavam os caminhões precisavam deslocar-se de uma moega para outra, a todo instante;
- (ii) o produto, que era descarregado no fluxo da moega velha, alimentava um silo pulmão, o qual não dispunha de sistemas de termometria e de aeração para preservar a qualidade do produto úmido;
- (iii) a utilização de mão-de-obra suplementar junto às máquinas de pré-limpeza do circuito da moega velha, que poderia estar sendo utilizada em outra função; e
- (iv) de acordo com o redimensionamento técnico, foi possível estimar a capacidade de transporte do transportador, que foi igual a 80 t h<sup>-1</sup>, sendo que, para esta situação, seria necessário um motor de 5,52 kW (12,5 cv), considerando-se um coeficiente de segurança de 15%, ou seja, os elevadores suportam transportar uma carga maior, pois, atualmente encontram-se motores de 14,72 kW (20 cv). Ressalta-se que para que os motores elétricos possam disponibilizar sua potência nominal, é necessário uma alta eficiência de transmissão de potência.

Os responsáveis pela unidade armazenadora alegaram que, se os elevadores funcionassem perto da capacidade nominal, as máquinas de pré-limpeza não suportariam o fluxo de grãos. É verídica a informação de que a capacidade de limpeza

das máquinas de pré-limpeza e limpeza, é inversamente proporcional ao teor de água dos grãos. De acordo com alguns fabricantes desses equipamentos, para uma máquina de pré-limpeza com capacidade nominal igual a  $20 \text{ t h}^{-1}$ , grãos com um teor de água de 21% b.u., área de peneiras igual a  $10 \text{ m}^2$  e massa específica de  $750 \text{ kg m}^{-3}$  e uma variação de um ponto percentual no teor de água de 21% b.u. para 22% b.u, por exemplo, a capacidade das máquinas ficaria reduzida em 10%, ou seja,  $18 \text{ t h}^{-1}$  e assim por diante.

### Máquinas de pré-limpeza e de limpeza

O Quadro 2.16 mostra o consumo e o custo com energia elétrica das máquinas de limpeza e pré-limpeza, utilizadas na linha de processamento do secador 2.

Quadro 2.16. Consumo e custo com energia elétrica na linha de processamento do secador 2 com máquinas de limpeza e pré-limpeza

| Equipamento  | Potência<br>kW (cv) | Tempo de operação<br>h | Consumo<br>kWh | Custo<br>R\$ lote <sup>-1</sup> |
|--|---------------------|------------------------|----------------|---------------------------------|
| Máquinas de limpeza e de pré-limpeza                       |                     |                        |                |                                 |
| MPL 01   | 11,04 (15)          | 0,75                   | 8,28           | 1,16                            |
| MPL 02   | 11,04 (15)          | 0,75                   | 8,28           | 1,16                            |
| MPL 03   | 11,04 (15)          | 0,75                   | 8,28           | 1,16                            |
| MPL 04   | 11,04 (15)          | 0,75                   | 8,28           | 1,16                            |
| ML 1   | 9,20 (12,5)         | 0,75                   | 6,90           | 0,97                            |
| ML 2   | 9,20 (12,5)         | 0,75                   | 6,90           | 0,97                            |
| ML 3   | 9,20 (12,5)         | 0,75                   | 6,90           | 0,97                            |
| ML 4   | 9,20 (12,5)         | 0,75                   | 6,90           | 0,97                            |
| Total de transportadores R\$ (60 t de grãos) <sup>-1</sup> |                     |                        |                | R\$ 8,50                        |
| Total de transportadores R\$ (t de grãos) <sup>-1</sup>    |                     |                        |                | R\$ 0,14                        |
| Tarifa de energia elétrica                                 |                     |                        | 0,14           | R\$ kWh <sup>-1</sup>           |

De acordo com o Quadro 2.16, o gasto com energia elétrica para secagem de um lote de milho foi de R\$ 8,50 (R\$ 0,14 t<sup>-1</sup>) para as máquinas de limpeza e pré-limpeza.

### Regulagem de máquinas (limpeza, pré-limpeza)

A avaliação da regulagem das máquinas foi feita por inspeção visual.

Na unidade armazenadora de Ituverava, praticamente, nenhum funcionário da linha de produção possuía conhecimento suficiente para regular as máquinas de pré-limpeza e limpeza. Foram constatadas situações em que a alimentação, na entrada das

quatro máquinas de pré-limpeza era muito desuniforme, devido a regulagem da distribuição de fluxo na entrada dessas máquinas, sobrecarregando, assim, algumas delas.

### Secador

O Quadro 2.17 mostra o consumo e o custo com energia elétrica para o motor do ventilador do secador, cuja potência é de 73,6 kW (100 cv) e do motor da descarga do secador, 2,21 kW (3 cv), na linha de processamento do secador 2.

Quadro 2.17. Consumo e custo com energia elétrica na linha de processamento do secador 2 com o motor do ventilador e descarga do secador

| Equipamento   | Potência<br>kW (cv) | Tempo de<br>operação<br>h | Consumo<br>kWh | Custo<br>R\$ lote <sup>-1</sup> |
|---|---------------------|---------------------------|----------------|---------------------------------|
| Secador 2   |                     |                           |                |                                 |
| Ventilador e descarga do secador<br>S2                                | 103                 | 3                         | 227,4          | 31,84                           |
| Total de transportadores (R\$ (lote de 60 t de grãos <sup>-1</sup> )) |                     |                           |                | 31,84                           |
| Total de transportadores (R\$ (lote t de grãos <sup>-1</sup> ))       |                     |                           |                | R\$ 0,53                        |
| Tarifa de energia elétrica  |                     |                           | 0,14           | R\$ kWh <sup>-1</sup>           |

De acordo com o Quadro 2.17, o gasto com energia elétrica para secagem de um lote de milho foi de R\$ 31,84 (R\$ 0,53 t<sup>-1</sup>) para o motor do ventilador e da descarga do secador.

### Comparação da temperatura dos grãos na câmara de secagem medida e os valores recomendados na literatura técnica

No teste de secagem realizado na unidade armazenadora de Ituverava (milho), foram medidas a temperatura dos grãos e a temperatura do ar de secagem, conforme descrito no Quadro 2.18.

Quadro 2.18. Temperatura na câmara de secagem e temperatura do ar de secagem – produto milho

| Lote |                   | Temperatura (°C)     |             |      |                        |             |             |                      |             |      |
|------|-------------------|----------------------|-------------|------|------------------------|-------------|-------------|----------------------|-------------|------|
|      |                   | Tempo de carga (min) |             |      | Tempo de secagem (min) |             |             | Tempo de carga (min) |             |      |
|      |                   | 00                   | 30          | 60   | 90                     | 120         | 150         | 180                  | 210         | 240  |
| 1    | Câmara de secagem | 46,9                 | <u>55,3</u> | 46,3 | 46,7                   | 47,7        | <u>65,6</u> | 54,4                 | <u>60,2</u> | 46,6 |
|      | Ar de secagem     | 69,3                 | 96,5        | 88,3 | 86,0                   | 132         | 105         | 92,5                 | 121         | 107  |
| 2    | Câmara de secagem | 54,4                 | <u>60,2</u> | 46,6 | 44,8                   | <u>57,0</u> | 53,8        | 54,0                 | 47,5        | 35,8 |
|      | Ar de secagem     | 92,5                 | 121         | 107  | 102                    | 106         | 97,4        | 82                   | 93,5        | 63   |
| 3    | Câmara de secagem | 54,0                 | 47,5        | 35,8 | 38,3                   | 51,1        | <u>57,1</u> | 54,8                 | <u>62,5</u> | 49,3 |
|      | Ar de secagem     | 82                   | 93,5        | 63   | 80                     | 99          | 104         | 105                  | 97,8        | 105  |

O Quadro 2.19 mostra a temperatura na massa de grãos na câmara de secagem em função do uso final do produto. Outros estudos mostram uma grande variação de valores, em comparação aos apresentados no Quadro 2.19.

Quadro 2.19. Temperatura máxima permitida na massa de grãos durante a secagem

| Produto | Finalidade      | Temperatura da massa de grãos (°C) |
|---------|-----------------|------------------------------------|
| Milho   | Amido           | 55                                 |
|         | Alimento animal | 82                                 |

Fonte: Weber (1995)

No Quadro 2.19 observa-se que a temperatura recomendada para a massa de grãos, é 55°C, no máximo, temperatura esta que atenderá ao critério sobre a qualidade do milho e do sorgo para processamento na indústria (WEBER, 1995). Entretanto, nos casos descritos, a temperatura atingiu valores acima do recomendado, o que pode ter afetado a qualidade do produto que foi seco.

## Fontes complementares de energia

### Combustível

Em geral, a utilização de energia térmica nas unidades armazenadoras é feita de forma não otimizada. Normalmente utilizada, a lenha perde massa até o momento de sua utilização, devido ao ataque de microorganismos por ser armazenada a céu aberto.

A regulagem das entradas de ar da fornalha e a operação dos secadores também são precárias. Devido à falta de padronização da lenha, quanto ao tamanho, diâmetro e teor de água, ocorre uma diminuição da energia disponível para o sistema de secagem.

A utilização de secadores com reaproveitamento do ar de exaustão ajudam a melhorar a eficiência de secagem.

### **Avaliação de fornalhas a fogo direto para combustíveis sólidos**

No Quadro 2.20, apresentaram-se a descrição e especificações técnicas nominais da fornalha utilizada.

Quadro 2.20. Dados nominais da fornalha da unidade armazenadora de Ituverava

| Equipamentos industriais Maringá LTDA            |  |
|--|--|
| Modelo FS65, 1986;                               |  |
| Capacidade                                       | 4,18 MW térmicos ( $3,6 \times 10^6$ kcal h <sup>-1</sup> )    |
| Consumo de lenha                                 | 1200 kg h <sup>-1</sup> ou 2,66 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> |
| Área de grelha                                   | (3) (1,80) = 5,4 m <sup>2</sup>                                |
| Altura   | 3,70 m   |
| Volume da câmara de combustão                    | (3) (3) (3,70) = 33,3 m <sup>3</sup>                           |
| Possui 6 entradas de ar                          | 0,30 x 0,30 m  |
| Número de portas de inspeção                     | (2)  |
| Altura do piso a porta de abastecimento de lenha | 1,06 m   |

### **Análise do combustível lenha (poder calorífico inferior, teor de água e dimensões)**

De posse dos dados da análise da lenha quanto a poder calorífico inferior e teor de água, pode-se delinear o Quadro 2.21.

Quadro 2.21. Teor de água e poder calorífico de lenha em três estados de conservação

|                         | Tara  | Tara + lenha | Teor de água | PCS                   | PCS                 |
|-------------------------|-------|--------------|--------------|-----------------------|---------------------|
|                         | g     | g            | %            | kcal kg <sup>-1</sup> | MJ kg <sup>-1</sup> |
| Lenha rachada           | 280,7 | 2088,7       | 24,7         | 4473,52               | 18,73               |
| Lenha superficial velha | 278,3 | 1786,6       | 27,4         | 4469,95               | 18,71               |
| Lenha superficial nova  | 230,2 | 1801,8       | 21,2         | 4464,61               | 18,69               |

De acordo com os valores apresentados no Quadro 2.21, não houve uma diferença significativa entre os valores de poder calorífico superior (PCS) para os três tipos de lenha, sendo que a lenha velha e a lenha não rachada nova são da mesma espécie e a lenha rachada nova de uma espécie diferente. No entanto, quanto maior a deterioração da lenha, menor será sua massa específica, o que resulta em prejuízo financeiro para a unidade armazenadora. Ressalta-se que os valores encontrados para o PCS da lenha foram muito superiores aos encontrados na literatura técnica.

No Quadro 2.22, encontram-se os dados de análise da massa específica básica de três tipos de lenha.

Quadro 2.22. Massa específica básica de três tipos de lenha

| Massa específica básica da lenha (kg m <sup>-3</sup> ) |                        |             |
|--|------------------------|-------------|
| Lenha rachada nova                                     | Lenha não rachada nova | Lenha velha |
| 506,39   | 530,32                 | 569,44      |
| 510,33   | 544,92                 | 499,71      |
| 511,71   | 562,62                 | 527,50      |

No Quadro 2.22, observa-se que adotando-se a massa específica da lenha rachada nova igual a 512 kg m<sup>-3</sup>, para a lenha não rachada nova, 563 kg m<sup>-3</sup> e para a lenha velha foi 499 kg m<sup>-3</sup>, como forma de se mostrar a maior dispersão possível de valores de perda de matéria seca, tem-se, que, de cada metro cúbico (m<sup>3</sup>) utilizado em relação à lenha não rachada nova, 11% é desperdiçado da lenha velha e 9% da lenha rachada nova. Este desperdício de lenha reflete-se em aumento dos custos para a unidade armazenadora e uso irracional do combustível. A análise feita de perda de matéria seca na lenha armazenada ao tempo é apenas preliminar e carece de estudos mais aprofundados. Dentre os estudos, que podem ser desenvolvidos está a influência de cobertura em pátio de armazenamento de lenha na perda de matéria seca.

Durante uma safra agrícola, em que se consome cerca de 3000 m<sup>3</sup> de lenha, para as duas unidades em estudo, supondo-se que o desperdício de lenha médio seja o da lenha velha em relação à lenha rachada nova, o volume total de lenha desperdiçada por deterioração de 341 m<sup>3</sup> de lenha por safra, o que representaria financeiramente, uma economia de R\$ 12.000,00 por safra. Com este recurso possivelmente poder-se-ia construir uma cobertura metálica para proteção da lenha de uma das 25 unidades armazenadoras da cooperativa.

#### **Determinação da vazão de ventilador utilizado em unidade armazenadora**

Aplicando-se a metodologia apresentada, obteve-se o cálculo para o ventilador, conforme apresentado a seguir.

O Quadro 2.23 apresenta o balanço de massa e energia para o cálculo do ventilador, a ser utilizado para secagem de 60 t de milho. Os dados de entrada foram obtidos a partir da média de três repetições do experimento.

Quadro 2.23. Balanço de massa e energia para cálculo da vazão do ventilador (Continua)

| Balanço de massa e energia                  |           |  |
|---|-----------|--|
| Produto                                     | milho     |  |
| Massa inicial – valor nominal               | 60.000,00 | kg   |
| Teor médio inicial de água                  | 20,00     | % b.u.   |
| Teor médio final de água                    | 13,00     | % b.u.   |
| Teor médio final de água                    | 0,15      | decimal, b.s.                                    |
| Condições ambientais                        |           |  |
| Umidade relativa inicial média              | 52,66     | %  |
| Temperatura inicial média                   | 24,71     | °C   |
| Condições da secagem:                       |           |  |
| Temperatura média de secagem                | 96,00     | °C   |
| Temperatura média de exaustão               | 30,96     | °C   |
| 1º Passo                                    |           |  |
| Cálculo da água a ser evaporada - U (% bu): |           |  |
| Peso de água (Pa <sub>1</sub> )             | 12.000,00 | kg de água                                       |
| Peso de matéria seca (Pms)                  | 48.000,00 | kg de matéria seca                               |
| Peso de água (Pa <sub>2</sub> )             | 7.172,41  | kg de água                                       |
| Quantidade de água a ser evaporada          | 4.827,59  | kg de água                                       |
| 2º Passo                                    |           |  |
| Condições ambientais (1)                    |           |  |
| Umidade relativa 1 média (UR1)              | 52,66     | %  |
| Temperatura inicial média (T1)              | 24,71     | °C   |
| Entalpia específica 1 média (E1)            | 59,90     | kJ (kg de ar seco) <sup>-1</sup>                 |
| Razão de mistura 1 média (RM1)              | 0,01      | kg de vapor d'água (kg de ar seco) <sup>-1</sup> |
| Ar de secagem (2)                           |           |  |
| Temperatura de secagem média (T2)           | 96,00     | °C   |
| Entalpia específica 2 (E2)                  | 137,00    | kJ (kg de ar seco) <sup>-1</sup>                 |
| Razão de mistura 2 (RM2)                    | 0,01      | kg de vapor d'água (kg de ar seco) <sup>-1</sup> |

Quadro 2.23. Balanço de massa e energia para cálculo da vazão do ventilador (Continuação)

| Ar de exaustão (3)                           |               |   |
|--|---------------|---|
| Temperatura média de exaustão (T3)           | 30,46         | °C  |
| Entalpia específica 3 (E3)                   | 137,00        | kJ (kg de ar seco) <sup>-1</sup>                  |
| Razão de mistura 3 (RM3)                     | 0,04          | kg de vapor de água (kg de ar seco) <sup>-1</sup> |
| Volume específico (VE3)                      | 0,92          | m <sup>3</sup> (kg de ar seco) <sup>-1</sup>      |
| 3º Passo                                     |               |   |
| Cálculo da quantidade de energia necessária  |               |   |
| Variação da razão de mistura ( $\Delta RM$ ) | 0,03          | kg de vapor de água (kg de ar seco) <sup>-1</sup> |
| Massa de ar seco                             | 166.239,19    | kg de ar seco                                     |
| Massa específica do ar                       |               | kg de ar seco (m <sup>-3</sup> )                  |
| Variação de entalpia ( $\Delta E$ )          | 77,10         | kJ (kg de ar seco) <sup>-1</sup>                  |
| Energia total (Et)                           | 12.817.041,89 | kJ de ar seco                                     |
| 4º Passo                                     |               |   |
| Cálculo da quantidade de lenha               |               |   |
| Poder calorífico inferior da lenha - medido  | 4.186,00      | kcal (kg de lenha) <sup>-1</sup>                  |
| Poder calorífico inferior da lenha - medido  | 17.500,00     | kJ (kg de lenha) <sup>-1</sup>                    |
| Rendimento médio da fornalha a lenha         | 50,00         | %   |
| Consumo de lenha (C <sub>L</sub> )           | 1.464,80      | kg de lenha                                       |
| 5º Passo                                     |               |   |
| Cálculo do tamanho do ventilador             |               |   |
| Tempo de operação - medido                   | 180,00        | min   |
| Vazão de ar seco (Q <sub>as</sub> )          | 2.770,65      | kg de ar seco (min) <sup>-1</sup>                 |
| Vazão de ar (Q)                              | 2.549,00      | m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>                  |
| Vazão de ar (Q)                              | 15.2940,06    | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> (de ar)            |
| Excesso de ar                                | 30%           | %   |
| Vazão de ar com excesso de ar - calculado    | 198.822,08    | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> (de ar)            |
| Vazão de ar com excesso de ar - calculado    | 3.313,70      | m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>                  |

De acordo com o Quadro 2.23, a vazão de ar do ventilador, considerando-se um excesso de ar de 30%, foi igual a 198.822,08 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Este valor de vazão do ventilador é aceitável para um secador com capacidade de secagem de 60 t h<sup>-1</sup>, pois, segundo o fabricante do equipamento o valor mínimo seria de 63.000,00 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, para secagem em modo contínuo, para grãos com teor de água inferior a 18% b.u.. Isto significa que não haverá falta de ar, não comprometendo, portanto, a operação de secagem dos grãos, pois tanto para a secagem em lotes, como na secagem de forma contínua, haveria massa de ar suficiente para o processo de secagem.

### Dimensionamento da fornalha

O Quadro 2.24 mostra o cálculo da área de grelha da fornalha, a partir dos dados coletados no teste de secagem realizado na unidade armazenadora.

Quadro 2.24. Cálculo da área de grelha da fomalha

| Cálculo da fomalha  |           |  |
|---|-----------|--|
| 1º Passo  |           |  |
| Características do ventilador   |           |  |
| Fluxo - calculado   | 1.104,57  | m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>               |
| Pressão estática medida   | 120,00    | mmca   |
| 2º Passo  |           |  |
| Acréscimo máximo de temperatura   |           |  |
| Variação de temperatura   | 80,00     | °C   |
| 3º Passo  |           |  |
| Temperatura do ambiente (Ta)  | 20,00     | °C   |
| 4º Passo  |           |  |
| Massa específica média do ar (20 e 80°C) – tabelado – (Andrade et al.; 1984)          | 1,10      | kg m <sup>-3</sup>                             |
| Calor específico do ar – tabelado – (Andrade et al.; 1984)                            | 0,24      | kcal (kg °C) <sup>-1</sup>                     |
| Quantidade de calor necessário (Q)  | 1.628,39  | kJ s <sup>-1</sup>                             |
| 5º Passo  |           |  |
| Supondo que:  |           |  |
| Teor inicial de água  | 20,00     | b.u. %   |
| Teor final de água  | 13,00     | b.u. %   |
| Logo a quantidade de água a evaporar por kg de produto úmido                          |           |  |
| Quantidade de água  | 0,08      | kg de água (kg de produto úmido) <sup>-1</sup> |
| 6º Passo  |           |  |
| Quantidade de produto a secar por hora  |           |  |
| Rendimento da secagem – (Andrade et al.; 1984)  | 50        | %  |
| Calor de vaporização da água (L)  | 2.500,00  | kJ (kg de água) <sup>-1</sup>                  |
| Massa de água (ma)  | 0,33      | kg de água (s) <sup>-1</sup>                   |
| Massa de água (ma)  | 1.172,44  | kg de água (h) <sup>-1</sup>                   |
| Massa de produto (mp)   | 14.571,74 | kg de produto (h) <sup>-1</sup>                |
| Massa de produto (mp)   | 14,57     | t de produto (h) <sup>-1</sup>                 |
| 7º Passo  |           |  |
| Cálculo da superfície da grelha – Taxa de combustão admitida                          |           |  |
| Quantidade de lenha que o secador consome por hora . m <sub>L</sub> (Q <sub>L</sub> ) | 0,09      | kg s <sup>-1</sup>                             |
| Massa de lenha (m <sub>L</sub> )  | 334,98    | kg de lenha h <sup>-1</sup>                    |
| Taxa e combustão admitida - grelha plana - carga manual e ar forçado                  | 200,00    | kg (h m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>           |
| A superfície total da grelha será (S) (Rendimento da fomalha de 100%)                 | 1,67      | m <sup>2</sup>                                 |
| A superfície total da grelha será (S) (Rendimento da fomalha de 50%)                  | 3,34      | m <sup>2</sup>                                 |

O Quadro 2.24, mostra que a área mínima de grelha considerando-se um secador com capacidade de secagem de 60 t h<sup>-1</sup> deve ser igual a 3,34 m<sup>2</sup>. De acordo com Silva (2005), para uma capacidade de secagem de 60 t h<sup>-1</sup>, seria necessária uma área de grelha plana de 6,92 m<sup>2</sup>, no mínimo. A área de grelha medida na unidade armazenadora é de 5,4 m<sup>2</sup> e a nominal é de 6 m<sup>2</sup>. Dessa forma, a área de grelha da unidade armazenadora satisfaz as condições necessárias à queima de combustível, para o fornecimento de energia necessária à secagem do produto agrícola, em tempo predeterminado, considerando somente este critério de análise.

## Monitoramento de variáveis no processo de secagem

### Temperatura

O Quadro 2.25 mostra as temperaturas medidas, durante a avaliação do sistema de secagem. A temperatura inicial dos grãos foi de 27 °C para o 1º lote; 29,4 °C para o 2º lote; e 25,3 °C para o 3º lote.

Na duração do processo de secagem, deve-se considerar o período intercalado de 30 minutos para o início de cada sequência de leituras de um mesmo lote, que estará saindo ou entrando no secador na operação de recirculação. Desta forma, nos primeiros 60 minutos da operação de secagem pode haver: (i) operação de descarga dos grãos, simultaneamente com o enchimento do secador; ou (ii) início da operação de recirculação de grãos / secagem; nos 60 minutos seguintes: secagem dos grãos; e nos últimos 60 minutos: (i) operação de descarga dos grãos da operação de recirculação, simultaneamente com o enchimento do secador.

Quadro 2.25. Variação da temperatura nas câmaras do secador 2

| Temperatura (°C)   |    | Duração do processo de secagem, (min) |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|--------------------|----|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                    |    | Lote                                  | 00   | 30   | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  | 210  | 240 |
| Ambiente           | 01 | 27,2                                  | 26   | 28   | 27,5 | 28,9 | 27,5 | 29   | 27   | 25,1 |     |
|                    | 02 | 29                                    | 27   | 25,1 | 25,1 | 24   | 23   | 18   | 19,2 | 21,2 |     |
|                    | 03 | 18                                    | 19,2 | 21,2 | 23,2 | 24,5 | 24,9 | 26   | 26   | 26,5 |     |
| Câmara de secagem  | 01 | 46,9                                  | 55,3 | 46,3 | 46,7 | 47,7 | 65,6 | 54,4 | 60,2 | 46,6 |     |
|                    | 02 | 54,4                                  | 60,2 | 46,6 | 44,8 | 57,0 | 53,8 | 54,0 | 47,5 | 35,8 |     |
|                    | 03 | 54,0                                  | 47,5 | 35,8 | 38,3 | 51,1 | 57,1 | 54,8 | 62,5 | 49,3 |     |
| Ar frio            | 01 | 28,0                                  | 28,0 | 28,0 | 27,5 | 27,0 | 26,9 | 26,8 | 26,5 | 26,8 |     |
|                    | 02 | 26,8                                  | 26,5 | 26,8 | 25,5 | 24,2 | 23,5 | 20,0 | 21,5 | 23,0 |     |
|                    | 03 | 20,0                                  | 21,5 | 23,0 | 24,2 | 26,0 | 25,8 | 26,5 | 28,0 | 28,0 |     |
| Câmara fria        | 01 | 27,0                                  | 31,0 | 30,9 | 29,5 | 29,4 | 31,3 | 36,3 | 34,7 | 38,6 |     |
|                    | 02 | 36,3                                  | 34,7 | 38,6 | 38,6 | 29,6 | 31,5 | 25,3 | 29,8 | 32,8 |     |
|                    | 03 | 25,3                                  | 29,8 | 29,6 | 25,9 | 26,0 | 28,8 | 35,0 | 30,7 | 36,1 |     |
| Câmara de exaustão | 01 | 25,5                                  | 47,3 | 37,7 | 41,0 | 39,0 | 45,1 | 34,6 | 29,0 | 26,2 |     |
|                    | 02 | 34,6                                  | 29,0 | 26,2 | 31,7 | 25,6 | 25,3 | 22,8 | 25,5 | 26,4 |     |
|                    | 03 | 22,8                                  | 25,5 | 26,4 | 26,9 | 28,6 | 29,8 | 31,2 | 29,1 | 29,5 |     |
| Ar de secagem      | 01 | 69,3                                  | 96,5 | 88,3 | 86,0 | 132  | 105  | 92,5 | 121  | 107  |     |
|                    | 02 | 92,5                                  | 121  | 107  | 102  | 106  | 97,4 | 82   | 93,5 | 63   |     |
|                    | 03 | 82                                    | 93,5 | 63   | 80   | 99   | 104  | 105  | 97,8 | 105  |     |

De acordo com o Quadro 2.25, desde o início da primeira repetição até o final da terceira repetição do teste, foram feitas as observações a seguir:

- 1) A temperatura ambiente teve uma variação máxima de 11°C, variando de 18 a 39°C.
- 2) A temperatura do ar na câmara de secagem teve uma variação máxima de 29,8°C. Essa variação média foi de 35,8 para 65,6°C. É recomendável que essa temperatura seja inferior àquela, que poderá causar danos físico-químicos nos grãos secados, que é de 55°C.
- 3) A temperatura do ar frio do secador teve uma variação máxima de 8°C, ou seja, variou de 20 a 28°C.
- 4) A temperatura da câmara fria do secador teve uma variação máxima de 14°C, variou de 25 a 39°C.
- 5) A temperatura do ar de exaustão teve uma variação máxima de 22°C, variou de 23 a 45°C. Quanto mais baixa a temperatura do ar de exaustão, melhor a eficiência energética do secador.
- 6) A temperatura do ar de secagem teve uma variação máxima de 63 a 132°C, tendo uma variação máxima de 69°C. No processo de secagem, foi observada uma variação de 46°C entre duas leituras consecutivas, sendo que, no intervalo de 30 minutos, a temperatura aumentou de 86 °C para 132°C. No processo de secagem, é importante que não ocorram variações bruscas na temperatura do ar de secagem, ou na temperatura do ar na câmara de secagem, como forma de diminuir o índice de quebra dos grãos. Lembrando que o fabricante recomenda que a temperatura do ar de secagem seja inferior a 100°C.

### **Vazão de ar**

O Quadro 2.26 apresenta a medição da velocidade do ar, nos diferentes equipamentos do sistema de aquecimento e geração de calor.

Quadro 2.26. Medição da velocidade do ar no secador 2

| Entrada de ar nº | Área da<br>fornalha (cm) | Velocidade do ar na<br>fornalha (m s <sup>-1</sup> ) |      |      | Área do ciclone<br>(cm) | Velocidade do ar no<br>ciclone (m s <sup>-1</sup> ) |      |   |
|------------------|--------------------------|--|------|------|-------------------------|---|------|---|
| 1                | 30 x 30                  | 10,8   | 13,3 | 13,2 | 30 x 15                 | 15,9  | -    | - |
|                  |                          | 11,6   | 12,5 | 13,5 |                         | 18,0  | -    | - |
|                  |                          | 11,5   | 11,3 | 12,2 |                         | 15,8  | -    | - |
| 2                | 30 x 30                  | 11,0   | 11,8 | 11,5 | 30 x 15                 | 16,2  | -    | - |
|                  |                          | 11,2   | 10,5 | 12,2 |                         | 16,9  | -    | - |
|                  |                          | 10,7   | 11,0 | 11,6 |                         | 16,2  | -    | - |
| 3                | 30 x 30                  | 13,3   | 15,1 | 14,6 | 30 x 23                 | 15,7  | 17,2 | - |
|                  |                          | 14,4   | 13,6 | 14,6 |                         | 15,2  | 17,4 | - |
|                  |                          | 11,8   | 12,9 | 14,6 |                         | 15,2  | 19,5 | - |
| 4                | 30 x 30                  | 13,9   | 14,4 | 14,3 | 30 x 22                 | 14,6  | 16,6 | - |
|                  |                          | 14,0   | 13,4 | 14,2 |                         | 13,9  | 16,7 | - |
|                  |                          | 11,7   | 13,9 | 14,1 |                         | 16,4  | 17,2 | - |
| 5                | 30 x 10                  | 11,7   | -    | -    | 30 x 20                 | 16,1  | 18,2 | - |
|                  |                          | 10,4   | -    | -    |                         | 17,6  | 15,0 | - |
|                  |                          | 8,8  | -    | -    |                         | 17,3  | 17,1 | - |
| 6                | 30 x 10                  | 12,0   | -    | -    | 30 x 19                 | 17,1  | 16,8 | - |
|                  |                          | 10,9   | -    | -    |                         | 15,8  | 15,7 | - |
|                  |                          | 10,8   | -    | -    |                         | 17,8  | 19,4 | - |
| 7                | -                        | -  | -    | -    | 30 x 20                 | 16,5  | 17,8 | - |
|                  |                          |  |      |      |                         | 16,5  | 16,9 | - |
|                  |                          |  |      |      |                         | 17,7  | 17,5 | - |
| 8                | -                        | -  | -    | -    | 30 x 20                 | 17,0  | 19,0 | - |
|                  |                          |  |      |      |                         | 18,1  | 19,2 | - |
|                  |                          |  |      |      |                         | 16,8  | 19,6 | - |
| 9                | -                        | -  | -    | -    | 30 x 20                 | 17,7  | 16,6 | - |
|                  |                          |  |      |      |                         | 16,5  | 17,5 | - |
|                  |                          |  |      |      |                         | 17,1  | 19,6 | - |
| 10               | -                        | -  | -    | -    | 30 x 20                 | 15,2  | 15,7 | - |
|                  |                          |  |      |      |                         | 16,8  | 16,5 | - |
|                  |                          |  |      |      |                         | 17,6  | 16,9 | - |

No Quadro 2.26 observa-se que a velocidade do ar nas entradas de ar da fornalha variaram de 8,8 a 15,1 m s<sup>-1</sup>. De acordo com a literatura técnica (Silva, 2005), é recomendável que esta velocidade esteja em torno de 5 m s<sup>-1</sup>. Quando a velocidade do ar esta acima do valor recomendado pela literatura técnica, a tendência do ar é esfriar a chama dentro da fornalha, reduzindo a quantidade de energia disponível para secagem e ainda, diminui o tempo de queima dos gases disponíveis na câmara de queima da fornalha.

O Quadro 2.27 apresenta os dados relativos à umidade do ar e teor de água dos grãos.

Quadro 2.27. Teor de água dos grãos e umidade relativa do ar

| Teor de água (% b.u.) e umidade relativa (%) |          | Duração da secagem (min) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|----------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  |          | Lote                     | 00   | 30   | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  | 210  | 240  |
|  | Motonco  | 01                       | 20,0 | 19,9 | 19,5 | 15,6 | 16,4 | 16,3 | 13,4 | 14,3 | 13,6 |
|  |          | 02                       | 19,0 | 18,4 | 19,9 | 15,5 | 16,6 | 14,8 | 13,4 | 12,4 | 12,9 |
|  |          | 03                       | 18,9 | 20,1 | 17,9 | 16,4 | 16,9 | 15,4 | 13,9 | 13,8 | 12,9 |
|  |          | 01                       | 21,7 | 20,3 | 17,9 | 15,5 | 16,5 | 15,1 | 13,9 | 14,9 | 13,1 |
|  | Edabo    | 02                       | 21,6 | 18,5 | 20,6 | 16,3 | 17,8 | 15,1 | 13,4 | 12,1 | 13,1 |
|  |          | 03                       | 19,3 | 19,4 | 17,0 | 16,7 | 16,3 | 14,8 | 14,5 | 12,6 | 11,8 |
|  |          | 01                       | 58   | 57   | 56   | 56   | 55   | 56   | 56   | 56   | 55   |
|  | Ambiente | 02                       | 56   | 56   | 55   | 58   | 60   | 61   | 78   | 75   | 70   |
|  |          | 03                       | 78   | 75   | 70   | 65   | 61   | 59   | 58   | 57   | 56   |

No Quadro 2.27, observa-se que houve uma pequena variação do teor de água entre as leituras feitas no Edabo (método direto) e pelo aparelho Motonco (método indireto), comprovando que o equipamento baseado no método indireto estava calibrado, pois apresentou um erro médio máximo de 6%.

### Energia

A massa de lenha consumida, para cada lote de 60 t de grãos secados, durante os testes de secagem, foram: 1811,92 kg (603,97 kg de lenha por hora) para o teste 1; 1959,15 kg (653,05 kg de lenha por hora) para o teste 2; e 1767,00 kg (589,00 kg de lenha por hora) para o teste 3.

### Fluxo e massa específica dos grãos

O fluxo de grãos no secador foi de  $1,43 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ , supondo uma massa específica de  $700 \text{ kg m}^{-3}$  e uma capacidade de secagem de  $60 \text{ t h}^{-1}$ .

O Quadro 2.28 apresenta a estimativa da variação da massa específica de milho durante a operação de secagem.

Quadro 2.28. Variação da massa específica de milho na operação de secagem

| Lote | Tempo de secagem (min) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 00                     | 30    | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   |
| 01   | 684,5                  | 685,3 | 688,3 | 712,1 | 708,1 | 708,6 | 720,9 | 717,7 | 720,3 |
| 02   | 692,0                  | 696,1 | 685,3 | 712,6 | 707,0 | 715,7 | 720,9 | 723,8 | 722,5 |
| 03   | 692,7                  | 683,8 | 699,4 | 708,1 | 705,4 | 713,1 | 719,2 | 719,6 | 722,5 |

No Quadro 2.28, observa-se que a massa específica do milho aumentou com a diminuição do teor de água, durante o processo de secagem.

### **Análise do sistema de secagem**

#### **Secador tipo torre com fluxos mistos**

Baseado nos dados psicrométricos do ambiente, do produto e dados coletados durante o processo de secagem, obteve-se a avaliação do secador da unidade armazenadora de Ituverava na secagem de milho, no período de safra 2004/2005.

O Quadro 2.29 apresenta os testes realizados no secador tipo torre de fluxos mistos, na unidade armazenadora.

Quadro 2.29. Teste do secador tipo torre de fluxos mistos para a unidade armazenadora de Ituverava (Continua)

| Unidade de Ituverava – Secador 2 S/EGQ – Produto milho – Temperatura de chama da fornalha = 1110 °C às 12:40 h – Altitude 605 m |                   |      |  |          |          |   |          |          |                                  |          |          |
|---|-------------------|------|--|----------|----------|---|----------|----------|----------------------------------|----------|----------|
|   |                   | Lote | Tempo de carga do secador ou de secagem de grãos na recirculação (min) |          |          | Tempo de secagem da massa de grãos no período de recirculação dos grãos (min) |          |          | Tempo de descarga de grãos (min) |          |          |
|   |                   |      | 00   | 30       | 60       | 90  | 120      | 150      | 180                              | 210      | 240      |
| Teor de água (% b.u.)   | Motonco           | 01   | 20,0   | 19,9     | 19,5     | 15,6  | 16,4     | 16,3     | 13,4                             | 14,3     | 13,6     |
|   |                   | 02   | 19,0   | 18,4     | 19,9     | 15,5  | 16,6     | 14,8     | 13,4                             | 12,4     | 12,9     |
|   |                   | 03   | 18,9   | 20,1     | 17,9     | 16,4  | 16,9     | 15,4     | 13,9                             | 13,8     | 12,9     |
| Umidade relativa Psic –calculada / Medida – psi digital   | Ambiente          | 01   | 52,66/58   | 35,95/57 | 25,05/56 | 35,34/56  | 26,35/55 | 30,43/56 | 34,79/56                         | 35,2/56  | 29,96/55 |
|   |                   | 02   | 34,79/56   | 35,2/56  | 29,96/55 | 34,19/58  | 38,76/60 | 42,12/61 | 57,79/78                         | 57,59/75 | 52,71/70 |
|   |                   | 03   | 57,79/78   | 57,59/75 | 52,71/70 | 45,41/65  | 36,62/61 | 34,44/59 | 35,95/58                         | 46,89/57 | 34,03/56 |
| Temperatura (°C)  | Ambiente          | 01   | 27,2/24  | 26/25    | 28/23    | 27,5/25   | 28,9/25  | 27,5/25  | 29/25                            | 27/25    | 25,1/24  |
|   |                   | 02   | 29/25  | 27/25    | 25,1/24  | 25,1/23   | 24/21    | 23/21    | 18/19                            | 19,2/21  | 21,2/21  |
|   |                   | 03   | 18/19  | 19,2/21  | 21,2/21  | 23,2/22   | 24,5/24  | 24,9/24  | 26/25                            | 26/24    | 26,5/25  |
|   | Câmara de secagem | 01   | 46,9   | 55,3     | 46,3     | 46,7  | 47,7     | 65,6     | 54,4                             | 60,2     | 46,6     |
|   |                   | 02   | 54,4   | 60,2     | 46,6     | 44,8  | 57,0     | 53,8     | 54,0                             | 47,5     | 35,8     |
|   |                   | 03   | 54,0   | 47,5     | 35,8     | 38,3  | 51,1     | 57,1     | 54,8                             | 62,5     | 49,3     |
|   | Ar frio           | 01   | 28,0   | 28,0     | 28,0     | 27,5  | 27,0     | 26,9     | 26,8                             | 26,5     | 26,8     |
|   |                   | 02   | 26,8   | 26,5     | 26,8     | 25,5  | 24,2     | 23,5     | 20,0                             | 21,5     | 23,0     |
|   |                   | 03   | 20,0   | 21,5     | 23,0     | 24,2  | 26,0     | 25,8     | 26,5                             | 28,0     | 28,0     |
|   | Câmara fria       | 01   | 27,0   | 31,0     | 30,9     | 29,5  | 29,4     | 31,3     | 36,3                             | 34,7     | 38,6     |
|   |                   | 02   | 36,3   | 34,7     | 38,6     | 38,6  | 29,6     | 31,5     | 25,3                             | 29,8     | 32,8     |
|   |                   | 03   | 25,3   | 29,8     | 29,6     | 25,9  | 26,0     | 28,8     | 35,0                             | 30,7     | 36,1     |
|   | Exaustão          | 01   | 25,5   | 47,3     | 37,7     | 41,0  | 39,0     | 45,1     | 34,6                             | 29,0     | 26,2     |
|   |                   | 02   | 34,6   | 29,0     | 26,2     | 31,7  | 25,6     | 25,3     | 22,8                             | 25,5     | 26,4     |
|   |                   | 03   | 22,8   | 25,5     | 26,4     | 26,9  | 28,6     | 29,8     | 31,2                             | 29,1     | 29,5     |
|   | Ar de secagem     | 01   | 69,3   | 96,5     | 88,3     | 86,0  | 132,0    | 105,0    | 92,5                             | 121,0    | 107,0    |
|   |                   | 02   | 92,5   | 121,0    | 107,0    | 102,0   | 106,0    | 97,4     | 82,0                             | 93,5     | 63,0     |
|   |                   | 03   | 82,0   | 93,5     | 63,0     | 80,0  | 99,0     | 104,0    | 105,0                            | 97,8     | 105,0    |

Quadro 2.29. Teste do secador tipo torre de fluxos mistos para a unidade armazenadora de Ituverava (Continuação)

| Lote | Consumo de lenha<br>kg | Secador, tempo (h) |          | T <sub>inicial</sub> do grão<br>(°C) | Duração da secagem (h) |       | Carga<br>(t) | Data     |
|------|------------------------|--------------------|----------|--------------------------------------|------------------------|-------|--------------|----------|
|      |                        | Carga              | Descarga |                                      | Início                 | Fim   |              |          |
| 01   | 1811,92                | 1:30               | 1:30     | 27                                   | 13:20                  | 16:20 | 60           | 15/08/04 |
| 02   | 1959,15                | 1:30               | 1:30     | 29,4                                 | 16:20                  | 19:20 | 60           | 15/08/04 |
| 03   | 1767,00                | 1:30               | 1:30     | 25,3                                 | 19:20                  | 22:20 | 60           | 15/08/04 |

De acordo com o Quadro 2.29 os dados do teste do secador 2 com 3 repetições para a unidade armazenadora de Ituverava o tempo de secagem foi de 3 horas. Como exemplo, adotando-se o lote 1, inicialmente a massa de grãos estava com um teor de água médio igual a 20,0% b.u.; após uma hora e trinta minutos, que é o tempo necessário para a recirculação do produto no secador, o teor de água foi reduzido para 15,6% b.u.; e após mais uma hora e trinta minutos, o teor de água do produto foi reduzido para 13,4% b.u., ficando assim, com o teor de água de armazenamento, saindo desta forma da operação de recirculação, iniciando assim, a entrada de produto úmido no secador e a secagem de um novo lote de grãos. Neste período de tempo o teor de água médio do produto passou de 19,5 a 13,2 % b.u. consumindo em média 1846 kg de lenha para secar um lote de 60 t de milho. Nesta situação o consumo de lenha foi de 616 kg de lenha por hora, para as condições nominais da fornalha este valor seria de 1200 kg de lenha por hora. Este consumo de lenha é baixo, quando comparado com outros sistemas e a adoção de procedimentos na operação de secagem podem reduzir ainda mais o consumo de lenha.

### Consumo de energia e eficiência dos secadores

Com os dados coletados no processo de secagem de um lote de milho, foi possível determinar o consumo de energia gasto no processo de secagem, bem como a eficiência de secagem do secador instalado na unidade armazenadora.

O Quadro 2.30 mostra o consumo de energia e a eficiência de secagem do secador tipo torre de fluxos mistos, na secagem de 60 t de milho.

Quadro 2.30. Consumo de energia e eficiência de secagem

|   | Combustível | lenha |                             |
|---|-------------|-------|-----------------------------|
| Consumo na fornalha - medido                                    | 616,00      |       | kg h <sup>-1</sup>          |
| Poder calorífico inferior - medido                              | 17.500,00   |       | kJ kg <sup>-1</sup>         |
| Teor inicial de água - medido                                   | 19,50       |       | % b.u.                      |
| Teor final de água - medido                                     | 13,20       |       | % b.u.                      |
| Massa inicial de produto (milho) - nominal                      | 60.000,00   |       | kg                          |
| Tempo de secagem - medido                                       | 3,00        |       | h                           |
| Consumo de energia elétrica - estimado                          | 2.066,40    |       | MJ                          |
| Calor latente de vaporização do milho                           | 2.336,67    |       | kJ kg <sup>-1</sup>         |
| Perda de peso devido à redução do teor de água                  | 4.354,84    |       | kg de água                  |
| Consumo específico de energia (CEE)                             | 7.900,73    |       | kJ kg <sup>-1</sup> de água |
| Consumo específico de energia não considerando energia elétrica | 7.426,22    |       | kJ kg <sup>-1</sup> de água |
| Eficiência do secador   | 29,58       |       | %                           |

De acordo com o Quadro 2.30, o consumo específico de energia do secador da unidade armazenadora de Ituverava foi de 7.900,73 kJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada e de 7.426,00 kJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada, não considerando a energia elétrica gasta, sendo que a eficiência do secador considerando-se a energia elétrica gasta foi de 29,58%. Este valor de consumo específico não é satisfatório, significando que os procedimentos adotados no processo de secagem podem até estar sendo bem executados, mas não de forma otimizada. No cálculo da eficiência do secador, não foram computadas as perdas ocorridas no processo de secagem. Este valor é semelhante àquele de outros secadores do mesmo tipo, considerando-se que eles também não trabalham de forma otimizada, existindo, portanto, a possibilidade de melhorar a eficiência do secador.

### Parâmetros de avaliação do sistema de secagem

Conforme Bakker-Arkema et al. (1992) e Silva (2000), os parâmetros a serem considerados na avaliação de desempenho dos secadores são apresentados no Quadro 2.31.

Quadro 2.31. Resultado experimental da avaliação energética do sistema de secagem (Continua)

| Parâmetro   | Repet.    | Repet. 2  | Repet. 3  |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Do produto – milho:   |           |           |           |
| Teor inicial de água médio, % bu - medido                       | 19,8      | 19,1      | 19,0      |
| Teor final de água médio, % bu - medido                         | 13,8      | 12,9      | 13,5      |
| Temperatura inicial média, °C - medida                          | 27,0      | 29,4      | 25,3      |
| Temperatura final média, °C - medida                            | 36,53     | 29,3      | 33,93     |
| Impurezas, % - estimada   | <1,0      | <1,0      | <1,0      |
| Massa específica inicial, kg.m <sup>-3</sup> - calculada        | 684,5     | 692,0     | 692,7     |
| Massa específica final, kg.m <sup>-3</sup> - calculada          | 720,3     | 722,5     | 722,4     |
| Massa inicial, kg – dado nominal                                | 60.000,00 | 60.000,00 | 60.000,00 |
| Massa final, kg – dado nominal                                  | 55.823,67 | 55.729,05 | 56.184,97 |
| Do ar:  |           |           |           |
| Temperatura média de secagem, °C - medida                       | 116,3     | 96,8      | 91,1      |
| Temperatura média ambiente, °C - medida                         | 27,5      | 24,2      | 23,3      |
| Umidade relativa média do ambiente, % - medida                  | 56,1      | 63,2      | 64,3      |
| Do secador:   |           |           |           |
| Fluxo de ar, m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> | -         | -         | -         |
| Espessura da camada, m – dado nominal                           | 0,90      | 0,90      | 0,90      |
| Área de secagem, m <sup>2</sup> – dado nominal                  | 8,36      | 8,36      | 8,36      |
| Pressão estática, mmca  | -         | -         | -         |

Quadro 2.31. Resultado experimental da avaliação energética do sistema de secagem (Continuação)

| De energia:   |           |           |           |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Tipo de combustível                                   | Lenha     | Lenha     | Lenha     |
| Massa de combustível, kg - medida                     | 1811,92   | 1959,15   | 1767,00   |
| Poder calorífico, kj. Kg <sup>-1</sup> - medido       | 17.500,00 | 17.500,00 | 17.500,00 |
| Energia elétrica, kwh - estimado                      | 534,3     | 534,3     | 534,3     |
| De desempenho:  |           |           |           |
| Duração do teste, h - medido                          | 3         | 3         | 3         |
| Redução de umidade, % bu - calculado                  | 7,99      | 8,09      | 7,28      |
| Eficiência energética:                                |           |           |           |
| Com energia elétrica, kj.kg <sup>-1</sup> - calculado |           | 7.900,73  |           |
| Sem energia elétrica, kj.kg <sup>-1</sup> - calculado |           | 7.426,22  |           |

### Curvas de secagem

De acordo com os dados obtidos para a variação do teor de água no tempo, durante o processo de secagem, obteve-se a curva de secagem para os dados médios da 2ª repetição do teste de secagem, Figura 2.12.

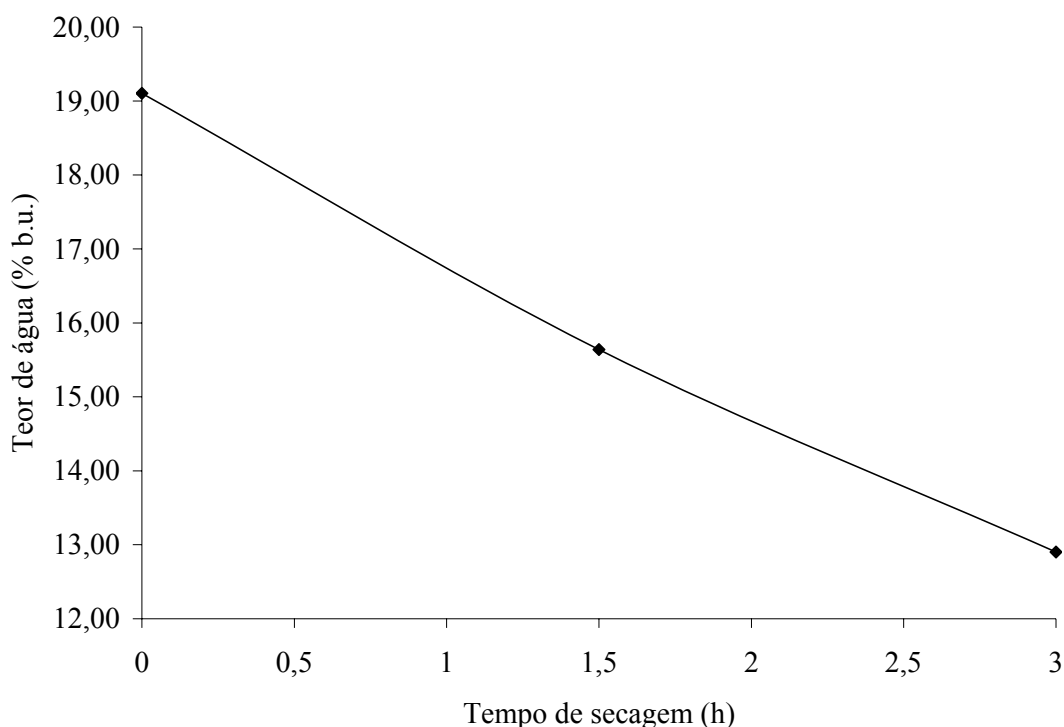


Figura 2.12. Curva de secagem para o produto milho, em secador de fluxos mistos.

Na Figura 2.12 observa-se que os grãos que entraram, inicialmente, no secador com teor médio de água de 19,10% b.u., após uma hora e trinta minutos sob

recirculação, estavam com um teor médio de água de 15,64% b.u. Esta mesma massa de grãos depois da recirculação, após mais uma hora e trinta minutos, o teor médio de água atingiu 12,90% b.u.

Observou-se que, no início da secagem do milho, ocorreu grande perda de água dos grãos (de 19,10 % para 15,64% b.u.) em um pequeno incremento de tempo (1,5 h) e que, no fim da secagem, houve uma pequena perda de água dos grãos (de 15,64% para 12,90 b.u.) em um período de tempo igual ou superior ao encontrado no primeiro estágio da secagem (1,5 h), como previsto na teoria de secagem de produtos agrícolas.

### **Custos de secagem em secador tipo torre de fluxos mistos**

Utilizando o programa computacional “Custo de secagem de grãos em secador tipo cascata”, desenvolvido por Queiroz e Valente (2004), estimou-se o custo de secagem para as duas unidades armazenadoras da CAROL, considerando-se o reaproveitamento ou não do ar de resfriamento e de exaustão nos secadores, resfriamento duplo do ar. Os secadores da CAROL não possuem sistema de reaproveitamento do ar. O Quadro 2.32 mostra os dados de entrada para simulação do custo de secagem de grãos, em secador tipo cascata, considerando ou não o reaproveitamento duplo do ar.

Quadro 2.32. Dados de entrada para o cálculo do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata da unidade armazenadora de Ituverava (Continua)

|  |              |
|--|--------------|
| <b>Escolha do produto</b>  |              |
| Produto:   | milho        |
| <b>Dados sobre o produto</b>   |              |
| Teor inicial médio de água (% b.u.)  | 22           |
| Teor de água na saída do secador (% b.u.)                                      | 13           |
| <b>Tipo de secador</b>   |              |
| Fonte de aquecimento do ar   |              |
| Combustível  | lenha        |
| Poder calorífico (kJ kg <sup>-1</sup> ) - medido                               | 17.500,00    |
| Preço da lenha (R\$ t <sup>-1</sup> ) - estimado                               | 50,00        |
| <b>Dados gerais sobre o sistema de secagem</b>                                 |              |
| Capacidade de secagem (t h <sup>-1</sup> ) - nominal                           | 60           |
| Potência total do sistema de movimentação de grãos e de ar - medido            | 125          |
| Tempo de utilização (h ano <sup>-1</sup> ) - estimado                          | 2.520        |
| Vida útil do secador e transportadores (ano) - estimado                        | 20           |
| Vida útil do queimador/fornalha (ano) - estimado                               | 20           |
| <b>Demais dados para análise econômica</b>                                     |              |
| Preço de aquisição do sistema de secagem excluindo a fornalha (R\$) - estimado | 2.000.000,00 |
| Preço de aquisição do queimador/fornalha (R\$) - estimado                      | 50.000,00    |

Quadro 2.32. Dados de entrada para o cálculo do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata da unidade armazenadora de Ituverava (Continuação)

|  |           |
|--|-----------|
| Valor de sucata (% do preço de aquisição) - estimado   | 10        |
| Juros sobre o capital médio investido (% ao ano) - estimado  | 12        |
| Taxas de seguro, impostos e alojamento (% do preço de aquisição) - estimado                          | 2         |
| Reparos e manutenção secador/transportadores (% do preço de aquisição ano <sup>-1</sup> ) - estimado | 3         |
| Reparos e manutenção do queimador/fornalha (% do preço de aquisição ano <sup>-1</sup> ) - estimado   | 3         |
| Salários da mão de obra direta (R\$ mês <sup>-1</sup> ) - estimado                                   | 9.500,00  |
| Encargos sociais (% do salário) - estimado   | 70        |
| Horas trabalhadas por mês por trabalhador - estimado   | 420       |
| Valor do salário total do pessoal administrativo (R\$ mês <sup>-1</sup> ) - estimado                 | 15.000,00 |
| Rateio salário pessoal administrativo para o sistema de secagem (% do total) - estimado              | 15        |
| Preço da energia elétrica (R\$ kWh <sup>-1</sup> ) - estimado  | 0,40      |

O Quadro 2.33 mostra os resultados da simulação do custo de secagem de grãos, em secador tipo cascata, não considerando o reaproveitamento duplo do ar.

Quadro 2.33. Resultado da simulação do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata, sem reaproveitamento do ar

| Resultados  |                   |
|---|-------------------|
| <b>Custos fixos</b>                                   |                   |
| Depreciação (R\$ ano <sup>-1</sup> )                  | 92.250,00         |
| Juros (R\$ ano <sup>-1</sup> )                        | 112.750,00        |
| Seguro, impostos, alojamento (R\$ ano <sup>-1</sup> ) | 41.000,00         |
| Mão-de-obra indireta (R\$ ano <sup>-1</sup> )         | 45.900,00         |
| <b>Custo fixo total (R\$ ano<sup>-1</sup>)</b>        | <b>291.900,00</b> |
| Custo fixo total (R\$ h <sup>-1</sup> )               | 115,83            |
| Custo fixo total (R\$ t <sup>-1</sup> )               | 4,42              |
| <b>Custos variáveis</b>                               |                   |
| Energia para aquecimento do ar (R\$ h <sup>-1</sup> ) | 44,11             |
| Energia elétrica (R\$ h <sup>-1</sup> )               | 36,78             |
| Mão-de-obra direta (R\$ h <sup>-1</sup> )             | 38,45             |
| Reparos e manutenção (R\$ h <sup>-1</sup> )           | 24,40             |
| <b>Custo variável total (R\$ h<sup>-1</sup>)</b>      | <b>143,74</b>     |
| Custo variável total (R\$ t <sup>-1</sup> )           | 5,49              |
| <b>Custos totais</b>                                  |                   |
| <b>Custo total (R\$ h<sup>-1</sup>)</b>               | <b>259,58</b>     |
| Custo total (R\$ t <sup>-1</sup> )                    | 9,91              |

O Quadro 2.34 apresenta os resultados da simulação feita para o custo de secagem de grãos, em secador tipo cascata, considerando-se o reaproveitamento duplo do ar.

Quadro 2.34. Resultado da simulação do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata, com reaproveitamento duplo do ar

| Resultados  |            |
|---|------------|
| <b>Custos fixos</b>                                   |            |
| Depreciação (R\$ ano <sup>-1</sup> )                  | 92.250,00  |
| Juros (R\$ ano <sup>-1</sup> )                        | 112.750,00 |
| Seguro, Impostos, Alojamento (R\$ ano <sup>-1</sup> ) | 41.000,00  |
| Mão-de-obra indireta (R\$ ano <sup>-1</sup> )         | 45.900,00  |
| Custo fixo (R\$ ano <sup>-1</sup> )                   | 291.900,00 |
| Custo fixo total (R\$ h <sup>-1</sup> )               | 115,83     |
| Custo fixo total (R\$ t <sup>-1</sup> )               | 4,42       |
| <b>Custos variáveis</b>                               |            |
| Energia para aquecimento do ar (R\$ h <sup>-1</sup> ) | 35,96      |
| Energia elétrica (R\$ h <sup>-1</sup> )               | 36,78      |
| Mão-de-obra direta (R\$ h <sup>-1</sup> )             | 38,45      |
| Reparos e manutenção (R\$ h <sup>-1</sup> )           | 24,40      |
| Custo variável total (R\$ h <sup>-1</sup> )           | 135,59     |
| Custo variável total (R\$ t <sup>-1</sup> )           | 5,18       |
| <b>Custos totais</b>                                  |            |
| Custo total (R\$ h <sup>-1</sup> )                    | 251,42     |
| Custo total (R\$ t <sup>-1</sup> )                    | 9,60       |

De acordo com o Quadro 2.33, o custo de secagem na unidade armazenadora de Ituverava foi de R\$ 9,91 por tonelada de grãos secados. Entretanto no Quadro 2.34, quando se considera o reaproveitamento duplo do ar no processo de secagem, este custo foi reduzido para R\$ 9,61. A Cooperativa dos Agricultores de Orlândia cobra pelo serviço de recepção, descarga, limpeza, secagem, pulverização e armazenagem durante a primeira quinzena um valor diferenciado, em função dos teores de água e impurezas do produto, que varia de R\$ 12,83 a R\$ 21,33 por tonelada de grãos secados. O limite máximo para recepção de grãos é de 22% de teor de água e 5% de grãos ardidos.

### **Avaliação da qualidade do produto**

Conforme os padrões de classificação estabelecidos para a comercialização do milho, o produto, após a secagem, foi submetido ao teste qualidade de índice de trincas, sendo classificável para fins comerciais.

#### **2.5.2. Unidade armazenadora de Guaíra**

A unidade localizada na cidade de Guaíra possui capacidade estática de 70.000 toneladas de grãos, armazenando na safra agrícola soja e milho e, na safrinha agrícola milho e sorgo. Esta unidade armazenadora possui uma capacidade de secagem de 140 t h<sup>-1</sup>.

A Figura 2.13 apresenta uma vista geral da unidade armazenadora de Guaíra.



Figura 2.13. Vista aérea da unidade armazenadora de Guaíra, SP.

As figuras 2.14, 2.15 e 2.16 mostram o fluxograma da unidade armazenadora de Guaíra, com todas as possibilidades de fluxo de transporte de grãos para linhas de processamento de produto úmido e de produto seco. Em cada linha de processamento, pode-se observar quais equipamentos foram acionados no processo de secagem, limpeza e armazenamento. O Quadro 2.35 apresenta a legenda para este fluxograma.

Quadro 2.35. Legenda para o fluxograma das figuras 2.14, 2.15 e 2.16

| Legenda                            | Descrição   |
|------------------------------------|---|
| M                                  | = Moega   |
| FT                                 | = Fita transportadora                                 |
| EL                                 | = Elevador de caçamba                                 |
| ML                                 | = Máquina de limpeza                                  |
| MPL                                | = Máquina de pré-limpeza                              |
| FT                                 | = Fita transportadora                                 |
| S                                  | = Secador   |
| RT                                 | = Rosca transportadora                                |
| Exp. rodov. exaustão de S2         | = Expedição rodoviária perto da exaustão do secador 2 |
| Exp. rod. M7                       | = Expedição rodoviária na moega 7                     |
| FTi                                | = Fita transportadora inferior do graneleiro          |
| FTs                                | = Fita transportadora superior do graneleiro          |
| Graneleiro                         | = Silo graneleiro                                     |
| Expedição rodoviária ao lado do G1 | = Expedição rodoviária ao lado do graneleiro 1        |

O Quadro 2.36 mostra as características técnicas e dados nominais dos equipamentos em estudo nos fluxogramas das figuras 2.14, 2.15 e 2.16.

Quadro 2.36. Dados nominais dos equipamentos em estudo para o produto soja em grãos (Continua)

|       | Capacidade de transporte | Velocidade de transporte medida | Distância a ser percorrida pelo transportador | Massa específica do produto | Caçambas por metro  | Motorização |
|-------|--------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------|---------------------|-------------|
|       | t h <sup>-1</sup>        | rpm                             | m   | kg m <sup>-3</sup>          | caç m <sup>-1</sup> | kW (cv)     |
| EL 1  | 60                       | 91                              | 24,60   | 750                         | 12,5                | 14,72 (20)  |
| EL 2  | 60                       | 310                             | 24,60   | 750                         | 12,5                | 14,72 (20)  |
| ELs 3 | 60                       | 90                              | 29,60   | 750                         | 7,0                 | 11,04 (15)  |
| ELs 4 | 60                       | 90                              | 29,60   | 750                         | 7,0                 | 11,04 (15)  |
| EL 5  | 60                       | 93                              | 17,60   | 750                         | 6,0                 | 5,52 (7,5)  |
| EL 6  | 60                       | 138                             | 17,60   | 750                         | 6,0                 | 5,52 (7,5)  |
| EL 7  | 60                       | 105                             | 21,60   | 750                         | 6,0                 | 7,36 (10)   |
| EL 8  | 60                       | 120                             | 21,60   | 750                         | 6,0                 | 7,36 (10)   |
| EL 9  | 60                       | 94                              | 18,60   | 750                         | 6,0                 | 7,36 (10)   |
| EL 10 | 60                       | 100                             | 18,60   | 750                         | 6,0                 | 7,36 (10)   |
| EL 11 | 60                       | -                               | 33,60   | 750                         | 12,5                | 11,04 (15)  |
| EL 12 | 60                       | -                               | 32,80   | 750                         | 12,5                | 22,08 (30)  |
| EL 13 | 100                      | 64                              | 33,60   | 750                         | 5                   | 29,44 (40)  |
| EL 14 | 60                       | 90                              | 35,60   | 750                         | 6                   | 18,4 (25)   |
| EL 15 | 60                       | 93                              | 35,60   | 750                         | 12,5                | 22,08 (30)  |
| EL 16 | 80                       | 94                              | 35,60   | 750                         | 12,5                | 18,4 (25)   |
| EL 17 | 120                      | 107                             | 35,60   | 750                         | 12,5                | 29,44 (40)  |
| EL 18 | 160                      | 78                              | 22,50   | 750                         | 6                   | 29,44 (40)  |
| EL 19 | 180                      | 73                              | 38,60   | 750                         | 12,5                | 36,8 (50)   |

|        | Capacidade de transporte | Velocidade de transporte medida | Distância a ser percorrida pelo transportador | Massa específica do produto | Largura da fita transportadora | Motorização |
|--------|--------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------|--------------------------------|-------------|
|        | t h <sup>-1</sup>        | rpm                             | m   | kg m <sup>-3</sup>          | m                              | kW (cv)     |
| FT 01  | 100                      | 149                             | 55  | 750                         | 0,50                           | 11,04 (15)  |
| FT 02  | 100                      | 149                             | 55  | 750                         | 0,50                           | 11,04 (15)  |
| FTt 03 | -                        | 93                              | 37,5  | 750                         | 0,60                           | 3,68 (5)    |
| FT 04  | 120                      | 92                              | 37,5  | 750                         | 0,60                           | 5,52 (7,5)  |
| FTt 05 | 120                      | 90                              | 37,5  | 750                         | 0,50                           | 5,52 (7,5)  |
| FTs 06 | 120                      | 143                             | 136,84  | 750                         | 0,50                           | 11,04 (15)  |
| FTs 07 | 120                      | 146                             | 136,00  | 750                         | 0,50                           | 14,72 (20)  |
| FTi 08 | 150                      | -                               | 142,50  | 750                         | 0,50                           | 11,04 (15)  |
| FTs 09 | 150                      | 140                             | 132,00  | 750                         | 0,60                           | 18,4 (25)   |
| FTs 10 | 150                      | 140                             | 132,00  | 750                         | 0,60                           | 18,4 (25)   |

|       | Capacidade de transporte | Velocidade de transporte medida | Distância a ser percorrida pelo transportador | Massa específica do produto | Largura da caixa do transportador helicoidal | Motorização |
|-------|--------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------|--|-------------|
|       | t h <sup>-1</sup>        | rpm                             | m   | kg m <sup>-3</sup>          | m  | kW (cv)     |
| RT 01 | 60                       | 110                             | 5,56  | 750                         | 0,325  | 5,52 (7,5)  |
| RT 02 | 60                       | 116                             | 5,56  | 750                         | 0,325  | 3,68 (5)    |
| RT 03 | 60                       | -                               | 4,00  | 750                         | 0,34   | 5,52 (7,5)  |
| RT 04 | 60                       | -                               | 4,00  | 750                         | 0,34   | 2,21 (3)    |
| RT 05 | 60                       | -                               | 4,00  | 750                         | 0,34   | 2,21 (3)    |
| RT 06 | 60                       | -                               | 4,00  | 750                         | 0,34   | 2,21 (3)    |
| RT 07 | 60                       | -                               | 4,00  | 750                         | 0,34   | 2,21 (3)    |
| RT 08 | 60                       | -                               | 4,00  | 750                         | 0,34   | 2,21 (3)    |
| RT 09 | -                        | -                               | -   | -                           | -  | 2,21 (3)    |
| RT 10 | 60                       | -                               | -   | -                           | -  | 2,21 (3)    |
| RT 11 | -                        | 114                             | 6,50  | 750                         | 0,40   | 2,21 (3)    |

Quadro 2.36. Dados nominais dos equipamentos em estudo para o produto soja em grãos (Continuação)

|                        | Capacidade de limpeza<br>t h <sup>-1</sup>    | Velocidade de funcionamento<br>- exaustor<br>rpm | Velocidade de funcionamento<br>- peneiras<br>rpm   | Massa específica do produto<br>kg m <sup>-3</sup>  | Área de peneiras<br>m <sup>2</sup>                | Motorização<br>kW (cv) |
|------------------------|---|--|--|--|---|------------------------|
| MPL 1                  | 60  | -  | -  | -  | -   | 5 + 3                  |
| MPL 2                  | 60  | 1060   | 368  | -  | -   | 5 + 3                  |
| MPL 3                  | 60  | -  | -  | -  | -   | 5 + 3                  |
| MPL 4                  | 60  | 940  | 372  | -  | -   | 5 + 3                  |
| MPL 9                  | 40  | -  | 421  | -  | -   | 5 + 3                  |
| MPL 10                 | 40  | -  | -  | -  | -   | 5 + 3                  |
| MPL 11                 | 40  | 1016   | 368  | -  | -   | 5 + 3                  |
| ML 1                   | 60  | 807  | 370  | -  | -   | 5 + 3                  |
| ML 2                   | 60  | 820  | 370  | -  | -   | 5 + 3                  |
| ML 5                   | 60  | -  | -  | -  | -   | 5 + 3                  |
| ML 6                   | 60  | 1066   | 372  | -  | -   | 5 + 3                  |
| ML 7                   | 60  | -  | -  | -  | -   | 5 + 3                  |
| ML 8                   | 60  | 1016   | 368  | -  | -   | 5 + 3                  |
| ML 12                  | 40  | 1078   | 385  | -  | -   | 5 + 3                  |
|                        | Capacidade de transporte<br>t h <sup>-1</sup> | Velocidade de transporte medida<br>rpm           | Distância a ser percorrida pelo transportador<br>m | Massa específica do produto<br>kg m <sup>-3</sup>  | Largura da caixa do transportador helicoidal<br>m | Motorização<br>kW (cv) |
| RD 01                  | -   | 30   | 24,56  | -  | 0,40  | 7,36 (10)              |
|                        | Capacidade de secagem<br>t h <sup>-1</sup>    | Câmara de secagem<br>m                           | Câmara de resfriamento<br>m                        | Vazão de ar<br>m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>      | Tipo de ventilador                                | Motorização<br>kW (cv) |
| Secador 1              | 40  | 13,60  | 4,50   | -  | centrifugo  | 44,16 (60)             |
| Secador 2              | 40  | 13,60  | 4,50   | -  | centrifugo  | 36,8 (50)              |
| Secador 3              | 60  | 13,60  | 4,50   | 63.000   | centrifugo  | 73,6 (100)             |
|                        | Fabricante                                    | Tipo de fornalha                                 | Capacidade<br>kJ h <sup>-1</sup>                   | Consumo de lenha<br>m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> | Área de grelha<br>m <sup>2</sup>                  | Tipo de grelha         |
| Fornalha 1             | Maringá                                       | Fogo direto                                      | 14,65 x 10 <sup>6</sup>                            | 1,8  | 5,0   | plana                  |
| Fornalha 2             | Maringá                                       | Fogo direto                                      | 14,65 x 10 <sup>6</sup>                            | 1,8  | 5,0   | plana                  |
| Fornalha 3             | Tecnal  | Fogo direto                                      | -  | -  | 6,9   | inclinada              |
|                        | Capacidade estática de armazenam ento<br>t    | Nº de septos<br>adm                              | Largura<br>m                                       | Comprim.<br>m                                      | Altura<br>m                                       | Tipo de aeração        |
| Granel. 1              | 32.500  | 2  | 30   | 150  | ± 20  | túnel                  |
| Granel. 2              | 30.000  | 5  | 30   | 148,64   | ± 20  | tún./ lateral          |
|                        | Fabricante                                    | Capacidade estática de armazenam. (t)            | Diâmetro (m)                                       | Altura (m)   | Pressão estática (mmca)                           | Motorização<br>kW (cv) |
| Silo sec 1             | Equipabril                                    | 300  | 7,32   | 10,80  | 120   | 7,36 (10)              |
| Silo sec 2             | Equipabril                                    | 300  | 7,32   | 10,80  | 120   | 7,36 (10)              |
| Silo sec 3             | Equipabril                                    | 300  | 7,32   | 10,80  | 120   | 7,36 (10)              |
| Silo sec 4             | Equipabril                                    | 300  | 7,32   | 10,80  | 120   | 7,36 (10)              |
| Silo sec 5             | Equipabril                                    | 300  | 7,32   | 10,80  | 120   | 7,36 (10)              |
| Silo sec 6             | Equipabril                                    | 300  | 7,32   | 10,80  | 120   | 7,36 (10)              |
| Silo pulmão s/ aeração | -   | 500  | -  | -  | -   | -                      |

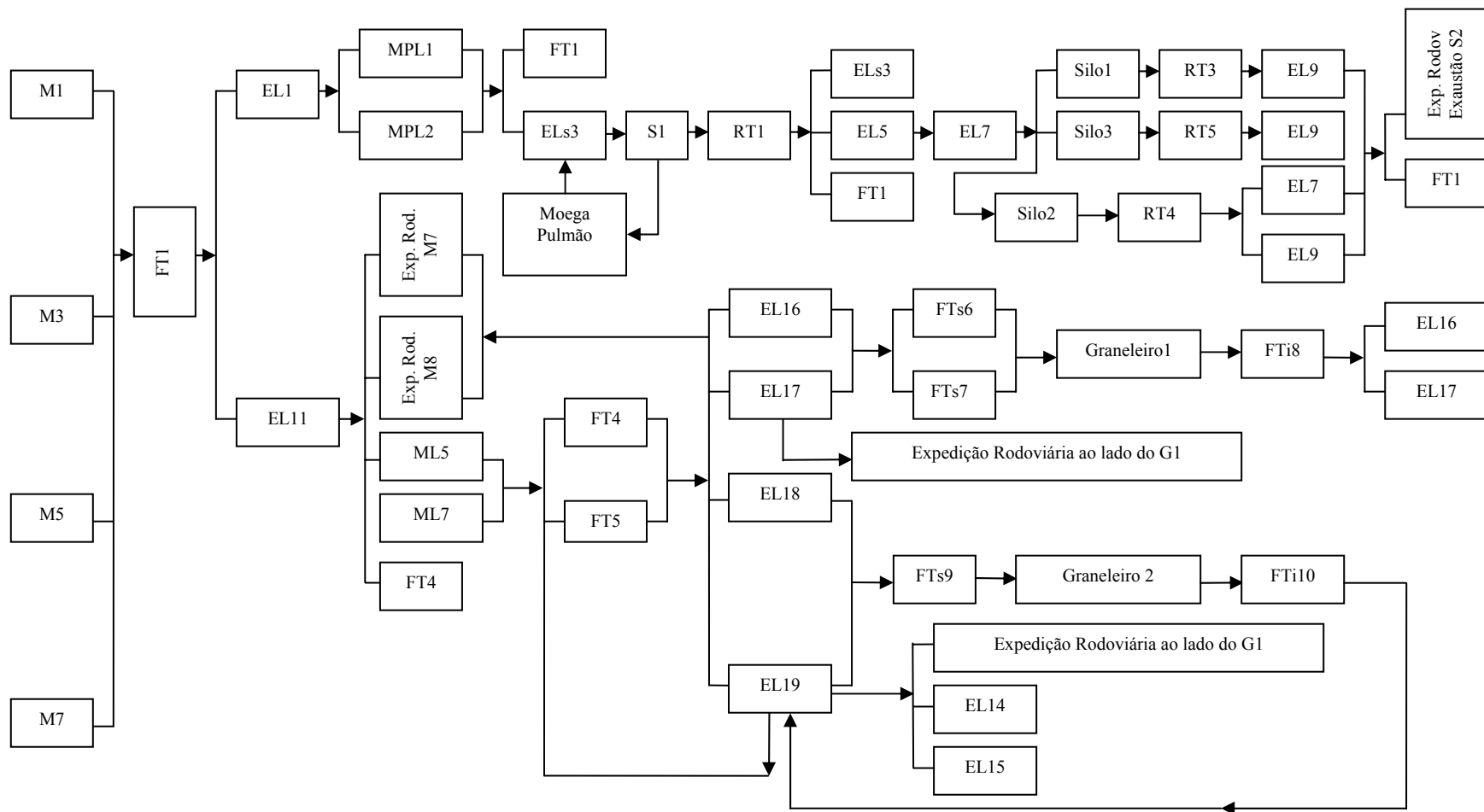


Figura 2.14. Fluxograma da unidade armazenadora de Guaíra, SP (primeira alternativa).

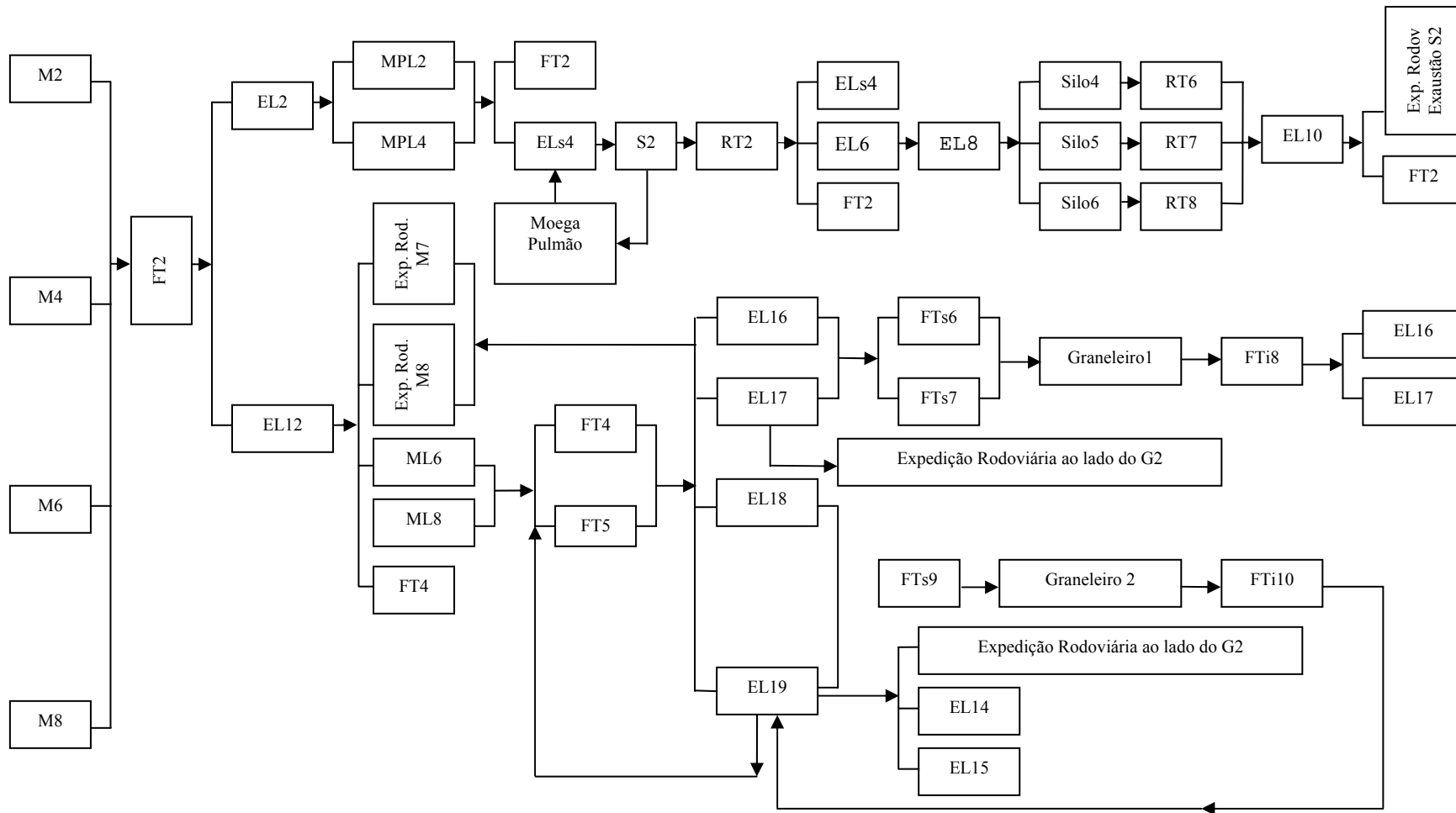


Figura 2.15. Fluxograma da unidade armazenadora de Guaíra (segunda alternativa).

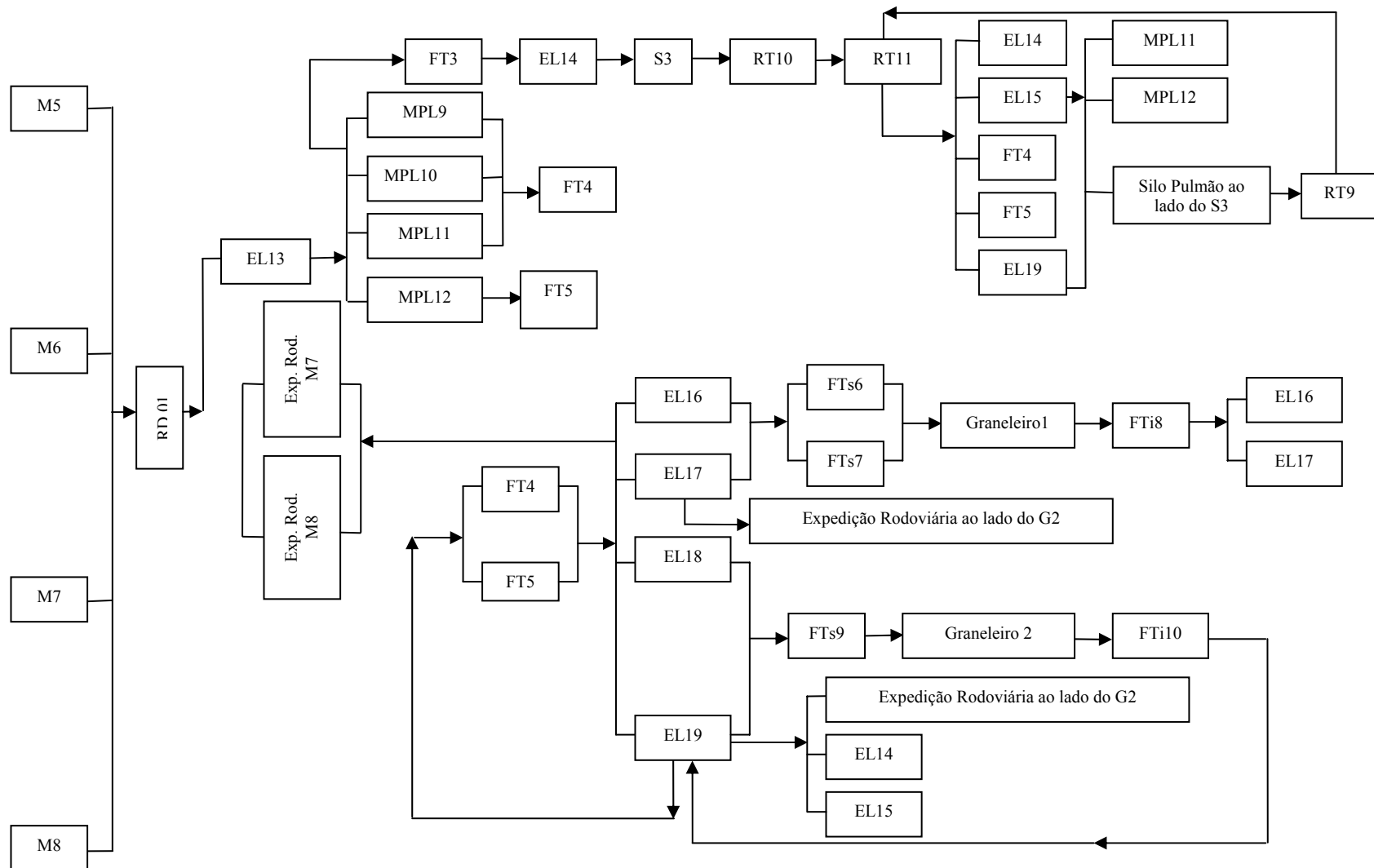


Figura 2.16. Fluxograma da unidade armazenadora de Guairá (terceira alternativa).

Na unidade armazenadora de Guaíra, que possui oito moegas de recepção, que alimentam três linhas de fluxo de produtos, é equipada com três secadores, sendo dois de 40 t h<sup>-1</sup> e um de 60 t h<sup>-1</sup>, foi possível analisar as três linhas de fluxo de produtos.

- a) Na unidade armazenadora de Guaíra, com três linhas de fluxo, há grande flexibilidade de alternativas no sistema de armazenagem, podendo-se dividir o produto recebido nas moegas da seguinte forma: (i) moegas 1, 3 e 5 recebem produto seco ou úmido e o encaminham para o circuito de secagem 1 ou 2, enquanto o produto recebido pode ser milho, soja ou sorgo; (ii) moegas 2, 4 e 6 recebem produto seco ou úmido e encaminham esse produto para o circuito de secagem 1 ou 2, sendo que o produto pode ser milho, soja ou sorgo; e (iii) moegas 6, 7 e 8 recebem o produto seco ou úmido e encaminham esse produto para o circuito de secagem 3, sendo que o produto recebido pode ser milho, soja ou sorgo.
- b) A separação por moegas proporciona a separação de faixas de teor de água dos produtos, que chegam do campo, a fim de reduzir o tempo de secagem, aumentar a capacidade de secagem e a uniformidade do produto seco. Considerando-se que a unidade possui um sistema de conservação de grãos automatizado, instalado em seus graneleiros, a separação nas moegas de recepção seria feita da seguinte forma: (i) no início da safra, nas moegas 1 e 3, o produto recebido deveria ter um teor de água superior a 19% e, na moega 5, deveria estar com teor de água abaixo de 19%; (ii) no início da safra, nas moegas 2 e 4, o produto recebido deveria ter teor de água superior a 18% e, na moega 6, deveria estar com o teor de água abaixo de 18%; e (iii) no início da safra, nas moegas 6, 7 e 8, poder-se-ia fazer a expedição da soja armazenada na safra passada, ou receber milho a ser secado no circuito três, sendo, em duas moegas, produtos com teor de água superior a 19% e a outra com teor de água inferior a 19%.

### **Transporte**

Considerando a linha de processamento de produto do secador em estudo, pode-se fazer uma estimativa do gasto de energia no sistema de transporte para a secagem de um lote de 60 t de milho.

O Quadro 2.37 mostra o consumo e o gasto com energia elétrica dos transportadores, localizados na linha de processamento do secador 3.

Quadro 2.37. Consumo e custo com energia elétrica na linha de processamento do secador 3 com transportadores

| Equipamento  | Potência<br>kW (cv) | Altura de<br>elevação ou<br>distância de<br>transporte<br>m | Capacidade<br>de transporte<br>nominal<br>t h <sup>-1</sup> | Tempo de<br>operação<br>h | Consumo<br>kWh | Custo<br>R\$ lote <sup>-1</sup> |
|--|---------------------|---|---|---------------------------|----------------|---------------------------------|
| <b>Transportador de corrente</b>   |                     |   |   |                           |                |                                 |
| RD 01  | 18,40 (25)          | 24,56   | 160   | 3,00                      | 55,20          | 7,73                            |
|  |                     |   |   |                           | 55,20          | 7,73                            |
| <b>Elevadores de caçambas</b>  |                     |   |   |                           |                |                                 |
| EL 13  | 22,08 (30)          | 33,6  | 100   | 3,00                      | 66,24          | 9,27                            |
| EL 14  | 29,44 (40)          | 35,6  | 60  | 1,50                      | 44,16          | 6,18                            |
| EL 15  | 18,40 (25)          | 35,6  | 60  | 1,50                      | 27,60          | 3,86                            |
| EL 18  | 29,44 (40)          | 22,5  | 160   | 1,50                      | 44,16          | 6,18                            |
| EL 19  | 29,44 (40)          | 38,6  | 180   | 1,50                      | 44,16          | 6,18                            |
|  |                     |   |   |                           | 226,32         | 31,68                           |
| <b>Fitas transportadoras</b>   |                     |   |   |                           |                |                                 |
| FT 3   | 5,52 (7,5)          |   |   | 3,00                      | 16,56          | 2,32                            |
| FT 4   | 11,04 (15)          | 37,5  | 120   | 1,50                      | 16,56          | 2,32                            |
| FT 5   | 5,52 (7,5)          | 37,5  | 120   | 1,50                      | 8,28           | 1,16                            |
| FT9 Superior Silo 2  | 11,04 (15)          | 132   | 150   | 3,00                      | 33,12          | 4,64                            |
|  |                     |   |   |                           | 74,52          | 10,43                           |
| <b>Transportador helicoidal</b>  |                     |   |   |                           |                |                                 |
| Rosca de descarga do<br>secador 3  | 3,68 (5)            | 2,4   | 60  | 3,00                      | 11,04          | 1,55                            |
|  |                     |   |   |                           | 11,04          | 1,55                            |
| <b>Consumo (kWh lote<sup>-1</sup>)</b>                                     |                     |   |   |                           | 367,08         |                                 |
| <b>Total de transportadores (R\$ (lote de 60 t de grãos)<sup>-1</sup>)</b> |                     |   |   |                           |                | 51,39                           |
| <b>Total de transportadores (R\$ (lote t de grãos)<sup>-1</sup>)</b>       |                     |   |   |                           |                | 0,86                            |

De acordo com o Quadro 2.37, o custo de energia elétrica para secagem de um lote de milho foi de R\$ 7,73 para o transportador de corrente (R\$ 0,13 t<sup>-1</sup>); para os elevadores de caçambas, R\$ 31,68 (R\$ 0,53 t<sup>-1</sup>); para as fitas transportadoras, R\$ 10,43 (R\$ 0,17 t<sup>-1</sup>); e para o transportador helicoidal, R\$ 1,55 (R\$ 0,03 t<sup>-1</sup>). Portanto, o custo total com os transportadores da linha de processamento foi de R\$ 51,39, para secagem de um lote de 60 t de milho (R\$ 0,86 t<sup>-1</sup> de milho).

Em geral, observou-se que a utilização da energia para alimentação dos transportadores, nas unidades armazenadoras, não segue os princípios técnicos de racionalização de energia, o que resulta em: (i) maior gasto com energia elétrica nos equipamentos; (ii) maior manutenção nos equipamentos mecânicos; (iii) falta de um plano sistemático de manutenção; (iv) utilização de óleos, graxas e lubrificantes fora das

especificações propostas para os equipamentos; e (v) utilização indiscriminada dos equipamentos a qualquer instante do dia, sem a adoção de critérios mínimos para o acionamento dos transportadores.

### **Redimensionamento de transportadores e avaliação da capacidade de transporte atual máxima dos transportadores**

Foram estudados os seguintes transportadores de grãos da unidade armazenadora de Guaíra: fitas transportadoras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10; e elevadores de caçambas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15. No Quadro 2.38, é apresentada a comparação de potência dos transportadores no projeto original (1) e do redimensionamento desses transportadores (2), considerando-se a literatura técnica pertinente.

Quadro 2.38. Potência demandada em fitas transportadoras da unidade armazenadora de Guaíra

| Equipamento        | Projeto |        | Dados de projeto |       |
|--------------------|---------|--------|------------------|-------|
|                    | cv      | kW     | cv               | kW    |
| FT01               | 15,00   | 11,04  | 5,00             | 3,68  |
| FT <sub>t</sub> 04 | 7,50    | 5,52   | 6,00             | 4,42  |
| FT <sub>t</sub> 05 | 7,50    | 5,52   | 10,00            | 7,36  |
| FT <sub>s</sub> 06 | 15,00   | 11,04  | 15,00            | 11,04 |
| FT <sub>s</sub> 07 | 20,00   | 14,72  | 15,00            | 11,04 |
| FT <sub>s</sub> 09 | 25,00   | 18,40  | 20,00            | 14,72 |
| FT <sub>i</sub> 10 | 25,00   | 18,40  | 12,50            | 9,20  |
| FT <sub>i</sub> 8  | 15,00   | 11,04  | 12,50            | 9,20  |
| FT 02              | 15,00   | 11,04  | 12,50            | 9,20  |
| FT <sub>t</sub> 03 | 5,00    | 3,68   | 5,00             | 3,68  |
| Total              | 150,00  | 110,40 | 113,50           | 83,54 |

De acordo com o Quadro 2.38, para as fitas transportadoras da unidade armazenadora de Guaíra, a potência demandada de projeto (1) foi igual a 110,40 kW (150 cv) e a potência demandada pelo redimensionamento (2), utilizando a literatura técnica com um coeficiente de segurança de 15%, foi de 83,54 kW (113,50 cv). Utilizou-se um fator de segurança médio de 47 % (32% da diferença entre as duas opções de dimensionamento e 15% que estava incluso no redimensionamento, utilizando a literatura técnica pertinente). Um fator de segurança médio de 47% é excessivo, considerando-se as condições estudadas e representa um potencial de economia de energia elétrica nessas fitas transportadoras da unidade armazenadora. De

posse dos valores de potência demandada, fica assegurado que as potências de projeto para as fitas transportadoras não estão coerentes com a técnica de dimensionamento de transportadores. O fator de segurança alto garante, em muitas situações, a condição de funcionamento contínuo da planta; entretanto, num contexto de conservação de energia, além de haver o funcionamento contínuo da planta, deve-se observar também a otimização do insumo energia, seja ela mecânica, térmica ou elétrica.

O Quadro 2.39, apresenta a comparação entre diretas formas de dimensionamento dos elevadores de caçambas. A opção (1) mostra os dados de projeto dos elevadores; a opção (2) considera o redimensionamento dos elevadores, considerando a literatura técnica, inclusive com a adoção de coeficientes de segurança e a opção (3) considera o redimensionamento dos elevadores, considerando a literatura técnica, dados medidos no ato da operação de transporte, e dados de transporte para a capacidade máxima, considerando também a adoção de coeficientes de segurança.

Quadro 2.39. Potência demandada em elevadores de caçambas da unidade armazenadora obtida por diferentes formas

| Equipamento        | Projeto original (1) |        | Redimensionamento técnico (2) |        | Redimensionamento com dados reais máximos (3) |        |
|--------------------|----------------------|--------|-------------------------------|--------|---|--------|
|                    | cv                   | kW     | cv                            | kW     | cv  | kW     |
| EL 01              | 20,00                | 14,72  | 7,50                          | 5,52   | 12,50   | 9,20   |
| EL <sub>s</sub> 03 | 15,00                | 11,04  | 7,50                          | 5,52   | 20,00   | 14,72  |
| EL 05              | 7,50                 | 5,52   | 5,00                          | 3,68   | 10,00   | 7,36   |
| EL 07              | 10,00                | 7,36   | 6,00                          | 4,42   | 10,00   | 7,36   |
| EL 09              | 10,00                | 7,36   | 5,00                          | 3,68   | 7,50  | 5,52   |
| EL 11              | 15,00                | 11,04  | 10,00                         | 7,36   | 15,00   | 11,04  |
| EL 16              | 25,00                | 18,4   | 12,50                         | 9,20   | 20,00   | 14,72  |
| EL 17              | 40,00                | 29,44  | 20,00                         | 14,72  | 25,00   | 18,40  |
| EL 18              | 40,00                | 29,44  | 20,00                         | 14,72  | 30,00   | 22,08  |
| EL 19              | 50,00                | 36,80  | 30,00                         | 22,08  | 40,00   | 29,44  |
| EL 02              | 20,00                | 14,72  | 7,50                          | 5,52   | 20,00   | 14,72  |
| EL <sub>s</sub> 04 | 15,00                | 11,04  | 7,50                          | 5,52   | 20,00   | 14,72  |
| EL 06              | 7,50                 | 5,52   | 5,00                          | 3,68   | 10,00   | 7,36   |
| EL 08              | 10,00                | 7,36   | 6,00                          | 4,42   | 10,00   | 7,36   |
| EL 10              | 10,00                | 7,36   | 5,00                          | 3,68   | 10,00   | 7,36   |
| EL 12              | 30,00                | 22,08  | 10,00                         | 7,36   | 25,00   | 18,40  |
| EL 13              | 40,00                | 29,44  | 15,00                         | 11,04  | 50,00   | 36,80  |
| EL 14              | 25,00                | 14,72  | 10,00                         | 7,36   | 25,00   | 18,40  |
| EL 15              | 30,00                | 22,08  | 10,00                         | 8,10   | 25,00   | 18,40  |
| Total              | 420,00               | 305,44 | 200,52                        | 147,57 | 385,00  | 283,36 |

No Quadro 2.39, referente aos elevadores de caçambas da unidade armazenadora de Guaíra, observou-se que a potência demandada de projeto (1) foi igual a 305,44 kW (420 cv), enquanto a potência demandada pelo redimensionamento, baseada na literatura técnica (2) com um coeficiente de segurança de 15% foi 147,57 kW (200,52 cv). No dimensionamento, consideram-se dados coletados do transportador em operação com 100% de carga nas caçambas, velocidade de rotação de trabalho com o carregamento diário de trabalho (3) e um coeficiente de segurança de 15% igual a 283,36 kW (385 cv).

A potência demandada máxima dos elevadores de caçambas (3) foi 283,36 kW (385 cv) e, teoricamente, nenhuma outra situação poderia ser superior a esta, o que de fato não aconteceu. Entretanto, a demanda do projeto original foi superior à potência demandada máxima dos elevadores de caçambas (1) que foi 305,44 kW (420 cv). Em comparação com a opção do redimensionamento dos elevadores de caçamba (2), que foi 200,52 kW (147,57 cv), observa-se que, em média, o coeficiente de segurança adotado no projeto original dos elevadores de caçamba foi de 122% (107% em relação aos valores dos dois dimensionamentos (1) e (2), adicionando os 15% já incluídos na opção 2).

Tal situação mostra que há um superdimensionamento inaceitável nesta unidade armazenadora, o que onera os custos de produção, tornando a empresa menos competitiva no mercado.

### **Máquinas de pré-limpeza e de limpeza**

O Quadro 2.40 mostra o consumo e o gasto com energia elétrica das máquinas de limpeza e pré-limpeza, envolvidas na linha de processamento do secador 3.

Quadro 2.40. Consumo e gasto com energia elétrica na linha de processamento do secador 3 com máquinas de limpeza e pré-limpeza

| Equipamento   | Potência<br>kW (cv) | Tempo de operação<br>h | Consumo<br>kWh | Custo<br>R\$ lote <sup>-1</sup> |
|---|---------------------|------------------------|----------------|---------------------------------|
| Máquinas de limpeza e pré-limpeza                                     |                     |                        |                |                                 |
| MPL 9   | 7,36 (10)           | 0,75                   | 5,52           | 0,77                            |
| Exaustão da MPL 9   | 2,21 (3)            | 0,75                   | 1,66           | 0,23                            |
| MPL 10  | 3,68 (5)            | 0,75                   | 2,76           | 0,39                            |
| Exaustão da MPL 10  | 2,21 (3)            | 0,75                   | 1,66           | 0,23                            |
| ML 11   | 3,68 (5)            | 0,75                   | 2,76           | 0,39                            |
| Exaustão da ML 11   | 2,21 (3)            | 0,75                   | 1,66           | 0,23                            |
| ML 12   | 3,68 (5)            | 0,75                   | 2,76           | 0,39                            |
| Exaustão da ML 12   | 2,21 (3)            | 0,75                   | 1,66           | 0,23                            |
| Consumo (kWh lote <sup>-1</sup> )                                     |                     |                        | 20,42          |                                 |
| Total de transportadores (R\$ (lote de 60 t de grãos) <sup>-1</sup> ) |                     |                        |                | 2,86                            |
| Total de transportadores (R\$ (tonelada de grãos) <sup>-1</sup> )     |                     |                        |                | 0,05                            |

Conforme o Quadro 2.40, o gasto com energia elétrica para secagem de um lote de milho foi de R\$ 2,86 (R\$ 0,05 t<sup>-1</sup>) para as máquinas de limpeza e pré-limpeza.

### Regulagem de máquinas (limpeza, pré-limpeza e secador)

Na unidade armazenadora de Guaíra, o encarregado pela operação do silo possui conhecimento sobre as regulagens das máquinas de pré-limpeza, porém, na época do experimento a regulagem das máquinas de pré-limpeza foi executada em poucas ocasiões.

### Secadores

O Quadro 2.41 apresenta o consumo e o custo com energia elétrica, para o motor do ventilador do secador, cuja potência é de 73,6 kW (100 cv) e do motor da descarga do secador, 2,21 kW (3 cv), na linha de processamento do secador 3.

Quadro 2.41. Consumo e gasto com energia elétrica na linha de processamento do secador 3 com os motores do ventilador e descarga do secador

| Equipamento  | Potência<br>kW (cv) | Tempo de<br>operação<br>h | Consumo<br>kWh | Custo<br>R\$ lote <sup>-1</sup> |
|--|---------------------|---------------------------|----------------|---------------------------------|
| Secador 2  |                     |                           |                |                                 |
| Ventilador e descarga do secador                     |                     |                           |                |                                 |
| Vent S2  | 103                 | 3                         | 227,4          | 31,84                           |
| Total de transportadores (R\$/lote de 60 t de grãos) |                     |                           |                | 31,84                           |
| Total de transportadores (R\$/lote t de grãos)       |                     |                           |                | R\$ 0,53                        |
| Tarifa de energia elétrica                           |                     |                           | 0,14           | R\$ kWh <sup>-1</sup>           |

De acordo com o Quadro 2.41, o custo com energia elétrica para a secagem de um lote de milho foi de R\$ 31,84 (R\$ 0,53 t<sup>-1</sup>) para o motor do ventilador e da descarga do secador.

### Comparação da temperatura dos grãos na câmara de secagem e os valores recomendados pela literatura técnica

No decorrer dos testes de secagem realizado nas unidades armazenadora de Guaíra (milho), foram medidas a temperatura dos grãos e a temperatura do ar de secagem, conforme descrito nos quadros 2.42 e 2.43.

Quadro 2.42. Temperatura na câmara de secagem e temperatura do ar de secagem – Secador 2 – Produto sorgo

|               |             | Temperatura (°C) |             |             |             |             |             |             |             |  |
|---------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| Grão          | 43,4        | <u>76,8</u>      | <u>92,2</u> | <u>57,7</u> | <u>60,5</u> | <u>87,0</u> | <u>79,3</u> | <u>68,6</u> | <u>67,3</u> |  |
| Ar de secagem | 128         | 123              | 125         | 118         | 121         | 116         | 135         | 121         | 94,1        |  |
| Grão          | <u>79,3</u> | <u>68,6</u>      | <u>67,3</u> | <u>77,4</u> | <u>63,8</u> | <u>55,9</u> | <u>64,2</u> | <u>67,5</u> | <u>63,6</u> |  |
| Ar de secagem | 135         | 121              | 94,1        | 122         | 121         | 111         | 123         | 121         | 132         |  |
| Grão          | <u>64,2</u> | <u>67,5</u>      | <u>63,6</u> | <u>78,3</u> | <u>82,3</u> | <u>88,5</u> | <u>93,6</u> |             |             |  |
| Ar de secagem | 123         | 121              | 132         | 118         | 117         | 116         | 120         |             |             |  |

Quadro 2.43. Temperatura na câmara de secagem e temperatura do ar de secagem - Secador 3 – Produto milho

|               |             | Temperatura (°C) |             |             |      |      |             |             |             |             |             |             |             |      |
|---------------|-------------|------------------|-------------|-------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| Grão          | 49,5        | <u>59,4</u>      | 50,5        | 49,8        | 52,4 | 48,1 | <u>58,3</u> | <u>56,5</u> | <u>60,9</u> | <u>60,3</u> | <u>65,4</u> | <u>64,1</u> | <u>57,1</u> | 42,3 |
| Ar de secagem | 103         | 115              | 115         | 92,6        | 99,9 | 104  | 121         | 103         | 109         | 112         | 132         | 98,3        | 107         | 111  |
| Grão          | <u>60,3</u> | <u>65,4</u>      | <u>64,1</u> | <u>57,1</u> | 42,3 | 51,0 | 44,1        | 47,3        | <u>57,6</u> | 52,4        | 44,1        | 53,7        | 48,0        | 50,8 |
| Ar de secagem | 112         | 132              | 98,3        | 107         | 111  | 96,8 | 111         | 122         | 100         | 123         | 100         | 116         | 109         | 109  |
| Grão          | <u>57,6</u> | 52,4             | 44,1        | 53,7        | 48,0 | 50,8 | 47,1        | 45,8        | 43,5        | 40,2        | 32,4        |             |             |      |
| Ar de secagem | 100         | 123              | 100         | 116         | 109  | 109  | 88,4        | 116         | 85,8        | 56,8        | 39,7        |             |             |      |

O Quadro 2.44 mostra relaciona a temperatura na massa de grãos na câmara de secagem em função da finalidade do produto final.

Quadro 2.44. Temperaturas máximas na massa de grãos durante a secagem

| Produto | Finalidade      | Temperatura da massa de grãos (°C) |
|---------|-----------------|------------------------------------|
| Milho   | <u>Amido</u>    | <u>55</u>                          |
|         | Alimento animal | 82                                 |

Fonte.: Weber (1995)

O Quadro 2.44 mostra que a temperatura recomendada para a massa de grãos no processo de secagem não deve ultrapassar 55°C, temperatura esta que atenderá o critério

de qualidade do milho e do sorgo para processamento na indústria (WEBER, 1995). Nos casos descritos, entretanto, a temperatura atingiu valores acima do recomendado, o que pode ter afetado a qualidade do produto secado. Recomenda-se, também, que a temperatura do ar de secagem não ultrapasse 100°C, para um determinado tempo de residência do produto dentro do secador.

## Fontes complementares de energia

### Combustível

Em geral, a utilização de energia térmica nas unidades armazenadoras é feita de forma não otimizada. A lenha, que é normalmente utilizada, perde massa até o período de utilização, devido ao ataque de microorganismos por ser armazenada a céu aberto.

A regulagem das entradas de ar da fornalha e a operação dos secadores também são precárias. Devido a não padronização do combustível lenha quanto ao tamanho, diâmetro e teor de água, houve diminuição da liberação de energia para o sistema de secagem.

A utilização de secadores com reaproveitamento do ar de exaustão ajudam a melhorar a eficiência de secagem.

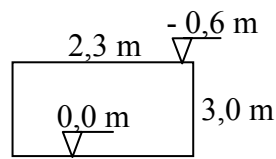
### Avaliação de fornalhas a fogo direto para combustíveis sólidos

Segue-se a descrição da fornalha utilizada na unidade armazenadora de Guaíra, que possui as especificações técnicas nominais apresentadas no Quadro 2.45.

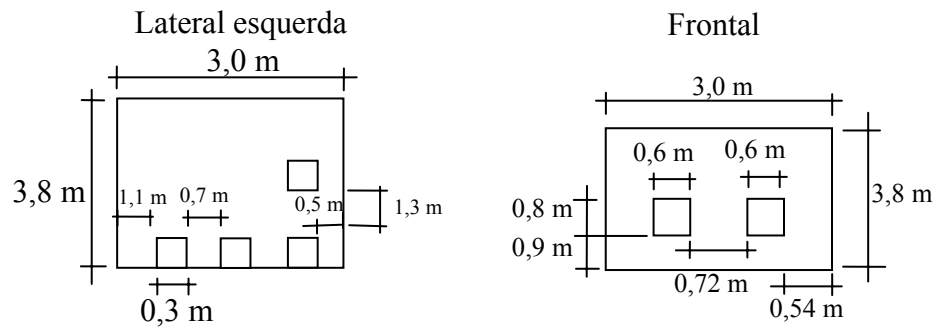
Quadro 2.45. Dados nominais da fornalha utilizada com o secador 03

| Equipamentos industriais TECNAL                |  |
|--|--|
| Modelo FS65, 1986                              |  |
| Capacidade                                     | 4,18 MW térmico ( $3,6 \times 10^6$ kcal h <sup>-1</sup> )     |
| Consumo  | 1200 kg h <sup>-1</sup> ou 2,66 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> |
| Área de grelha                                 | (2,3) (3) = 6,9 m <sup>2</sup>                                 |
| Altura   | 3,80 m   |
| Volume da câmara de combustão                  | (3) (3) (3,80) = 34,2 m <sup>3</sup>                           |
| Possui 8 entradas de ar                        | 0,30 x 0,30 m  |
| Número de portas de inspeção                   | 2  |
| Altura do piso à porta de alimentação de lenha | 1,06 m   |

- Área da grelha inclinada



- Dimensões da fornalha



### **Análise do combustível lenha**

O resultado do teor de água e do poder calorífico superior da lenha é apresentado no Quadro 2.21 (página 84).

O resultado da análise da massa específica básica de três tipos de lenha é apresentado no Quadro 2.22 (página 85).

### **Determinação da vazão de ventilador utilizado em unidade armazenadora**

Aplicando-se a metodologia apresentada, obteve-se o cálculo para o ventilador, conforme apresentado a seguir.

O Quadro 2.46 mostra o balanço de massa e energia para o cálculo do ventilador, a ser utilizado para secagem de 60 t de milho. Os dados de entrada foram obtidos a partir da média de três repetições do experimento.

Quadro 2.46. Balanço de massa e energia para cálculo da vazão de ventilador (Continua)

| Balanço de massa e energia                  |               |   |
|---|---------------|---|
| Produto                                     | milho         |   |
| Massa inicial – valor nominal               | 60.000,00     | kg  |
| Teor inicial médio de água                  | 20,00         | % b.u.  |
| Teor final médio de água                    | 13,00         | % b.u.  |
| Teor final médio de água                    | 0,15          | decimal, b.s.                                     |
| Condições ambientais                        |               |   |
| Umidade relativa inicial média              | 42,85         | %   |
| Temperatura inicial média                   | 20,33         | °C  |
| Condições da secagem:                       |               |   |
| Temperatura de secagem média                | 105,48        | °C  |
| Temperatura de exaustão média               | 35,15         | °C  |
| 1º Passo                                    |               |   |
| Cálculo da água a ser evaporada - U (% bu)  |               |   |
| Peso de água (Pa <sub>1</sub> )             | 12.000,00     | kg de água  |
| Peso de matéria seca (Pms)                  | 48.000,00     | kg de matéria seca                                |
| Peso de água (Pa <sub>2</sub> )             | 7172,41       | kg de água  |
| Quantidade de água a ser evaporada          | 4.827,59      | kg de água  |
| 2º Passo                                    |               |   |
| Condições ambientais (1)                    |               |   |
| Umidade relativa 1 média (UR1)              | 42,85         | %   |
| Temperatura inicial média (T1)              | 20,33         | °C  |
| Entalpia específica 1 média (E1)            | 37,54         | kJ (kg de ar seco) <sup>-1</sup>                  |
| Razão de mistura 1 média (RM1)              | 0,01          | kg de vapor de água (kg de ar seco) <sup>-1</sup> |
| Ar de secagem (2)                           |               |   |
| Temperatura de secagem média (T2)           | 105,48        | °C  |
| Entalpia específica 2 (E2)                  | 128,00        | kJ (kg de ar seco) <sup>-1</sup>                  |
| Razão de mistura 2 (RM2)                    | 0,01          | kg de vapor de água (kg de ar seco) <sup>-1</sup> |
| Ar de exaustão (3)                          |               |   |
| Temperatura de exaustão média (T3)          | 35,15         | °C  |
| Entalpia específica 3 (E3)                  | 128,00        | kJ (kg de ar seco) <sup>-1</sup>                  |
| Razão de mistura 3 (RM3)                    | 0,04          | kg de vapor de água (kg de ar seco) <sup>-1</sup> |
| Volume específico (VE3)                     | 0,93          | m <sup>3</sup> (kg de ar seco) <sup>-1</sup>      |
| 3º Passo                                    |               |   |
| Cálculo da quantidade de energia necessária |               |   |
| Varição da razão de mistura ( $\Delta RM$ ) | 0,04          | kg de vapor de água (kg de ar seco) <sup>-1</sup> |
| Massa de ar seco                            | 137.655,72    | kg de ar seco                                     |
| Varição de entalpia ( $\Delta E$ )          | 90,46         | kJ (kg de ar seco) <sup>-1</sup>                  |
| Energia total (Et)                          | 12.452.336,71 | kJ de ar seco                                     |
| 4º Passo                                    |               |   |
| Cálculo da quantidade de lenha              |               |   |
| Poder calorífico inferior da lenha - medido | 17.500,00     | kJ (kg de lenha) <sup>-1</sup>                    |
| Rendimento médio da fôrnalha a lenha        | 50,00         | %   |
| Consumo de lenha (C <sub>L</sub> )          | 1.423,12      | kg de lenha                                       |

Quadro 2.46. Balanço de massa e energia para cálculo da vazão de ventilador (continuação)

| 5º Passo                                  |            |  |
|---|------------|--|
| Cálculo do tamanho do ventilador          |            |  |
| Tempo de operação - medido                | 180,00     | min                                    |
| Vazão de ar seco (Qas)                    | 2.294,26   | kg de ar seco (min) <sup>-1</sup>      |
| Vazão de ar (Q)                           | 2.133,667  | m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>       |
| Vazão de ar (Q)                           | 128.019,82 | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> (de ar) |
| Excesso de ar                             | 30%        | %                                      |
| Vazão de ar com excesso de ar - calculado | 166.425,77 | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> (de ar) |
| Vazão de ar com excesso de ar - calculado | 2.773,76   | m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>       |

Do Quadro 2.46 o valor da vazão de ar disponível para secagem da unidade armazenadora de Guaira foi de 166.425,77 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. De acordo com alguns pesquisadores, este valor deveria estar na faixa de 63.000,00 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Isto significa que não haverá falta de ar, não comprometendo, portanto, a operação de secagem dos grãos, pois tanto para a secagem em lotes, como na secagem de forma contínua, haveria massa de ar suficiente para o processo de secagem.

### Dimensionamento da fornalha

O Quadro 2.47 mostra o cálculo da área de grelha da fornalha, utilizada em conjunto com o secador tipo torre de fluxos mistos.

Quadro 2.47. Cálculo da área de grelha da fornalha (Continua)

| Cálculo da fornalha  |          |  |
|--|----------|--|
| 1º Passo   |          |  |
| Características do ventilador  |          |  |
| Fluxo - calculado  | 924,59   | m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>               |
| Pressão estática medida  | 120,00   | mmca   |
| 2º Passo   |          |  |
| Acréscimo máximo de temperatura  |          |  |
| Varição de temperatura   | 80,00    | °C   |
| 3º Passo   |          |  |
| Temperatura do ambiente (Ta)   | 20,33    | °C   |
| 4º Passo   |          |  |
| Massa específica média do ar (20 e 80°C) – tabelado – (Andrade et al.; 1984) | 1,10     | kg m <sup>-3</sup>                             |
| Calor específico do ar – tabelado – (Andrade et al.; 1984)                   | 0,24     | kcal (kg °C) <sup>-1</sup>                     |
| Quantidade de calor necessário (Q)   | 1.363,06 | kJ s <sup>-1</sup>                             |
| Quantidade de calor necessário (Q)   | 1.363,06 | kW   |
| 5º Passo   |          |  |
| Supondo que:   |          |  |
| Teor inicial de água   | 20,00    | b.u. %   |
| Teor final de água   | 13,00    | b.u. %   |
| Logo a quantidade de água a evaporar por kg de produto úmido                 |          |  |
| Quantidade de água   | 0,08     | kg de água (kg de produto úmido) <sup>-1</sup> |

Quadro 2.47. Cálculo da área de grelha da fornalha (Continuação)

| 6º Passo  |           |                                      |
|---|-----------|--------------------------------------|
| Quantidade de produto a secar por hora  |           |                                      |
| Rendimento da secagem – (Andrade et al.; 1984)  | 50        | %                                    |
| Calor de vaporização da água (L)  | 2.500,00  | kJ (kg de água) <sup>-1</sup>        |
| Massa de água (ma)  | 0,27      | kg de água (h) <sup>-1</sup>         |
| Massa de água (ma)  | 981,40    | kg de água (h) <sup>-1</sup>         |
| Massa de produto (mp)   | 12.197,40 | kg de produto (h) <sup>-1</sup>      |
| Massa de produto (mp)   | 12,20     | t de produto (h) <sup>-1</sup>       |
| 7º Passo  |           |                                      |
| Cálculo da superfície da grelha - Taxa de combustão admitida                          |           |                                      |
| Quantidade de lenha que o secador consome por hora . m <sub>L</sub> (Q <sub>L</sub> ) | 0,08      | kg s <sup>-1</sup>                   |
| Massa de lenha (m <sub>L</sub> )  | 280,40    | kg de lenha h <sup>-1</sup>          |
| Taxa e combustão admitida - grelha plana - carga manual e ar forçado                  | 200,00    | kg (h m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> |
| A superfície total da grelha será (S) – rendimento de 100% da fornalha                | 1,40      | m <sup>2</sup>                       |
| A superfície total da grelha será (S) – rendimento de 50% da fornalha                 | 2,80      | m <sup>2</sup>                       |

De acordo com o Quadro 2.47, mostra que a área mínima de grelha considerando-se um secador com capacidade de secagem de 60 t h<sup>-1</sup> deve ser igual a 2,80 m<sup>2</sup>. De acordo com Silva (2005), para uma capacidade de secagem de 60 t h<sup>-1</sup>, seria necessária uma área de grelha plana de 6,92 m<sup>2</sup>, no mínimo. A área de grelha medida na unidade armazenadora é de 5,4 m<sup>2</sup> e a nominal é de 6 m<sup>2</sup>. Dessa forma, a área de grelha da unidade armazenadora satisfaz as condições necessárias à queima de combustível, para o fornecimento de energia necessária à secagem do produto agrícola, em tempo predeterminado, considerando somente este critério de análise.

## Monitoramento de variáveis no processo de secagem

### Temperatura

O Quadro 2.48 mostra as temperaturas medidas na avaliação do sistema de secagem. A temperatura inicial dos grãos foi de 17 °C para o 1º lote, 21 °C para o 2º lote e 23 °C para o 3º lote.

Na duração do processo de secagem, deve-se considerar o período intercalado de 20 minutos para o início de cada sequência de leituras de um mesmo lote, que estará saindo ou entrando no secador na operação de recirculação. Desta forma, nos primeiros 60 minutos da operação de secagem pode haver: (i) operação de descarga dos grãos, simultaneamente com o enchimento do secador; ou (ii) início da operação de recirculação de grãos / secagem; nos 60 minutos seguintes: secagem dos grãos; e nos últimos 60 minutos: (i) operação de descarga dos grãos da operação de recirculação, simultaneamente com o enchimento do secador.

Quadro 2.48. Variação da temperatura nas câmaras do secador 3 (Continua)

| Temperatura (°C)   |    | Tempo (min) |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|--------------------|----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                    |    | Lote        | 00   | 20   | 40   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  | 160 |
| Ambiente           | 01 | 21,7        | 21,0 | 23,4 | 21,6 | 18,0 | 18,9 | 18,7 | 17,0 | 16,8 |     |
|                    | 02 | 19,5        | 19,7 | 20,8 | 20,6 | 20,4 | 18,5 | 18,1 | 16,4 | 16,3 |     |
|                    | 03 | 20,7        | 18,8 | 19,4 | 19,8 | 19,1 | 20,3 | 21,5 | 16,7 | 17,4 |     |
| Câmara de secagem  | 01 | 49,5        | 59,4 | 50,5 | 49,8 | 52,4 | 48,1 | 58,3 | 56,5 | 60,9 |     |
|                    | 02 | 60,3        | 65,4 | 64,1 | 57,1 | 42,3 | 51,0 | 44,1 | 47,3 | 57,6 |     |
|                    | 03 | 57,6        | 52,4 | 44,1 | 53,7 | 48,0 | 50,8 | 47,1 | 45,8 | 43,5 |     |
| Ar frio            | 01 | 16,1        | 16,4 | 16,9 | 17,1 | 17,6 | 18,3 | 18,5 | 18,6 | 19,6 |     |
|                    | 02 | 20,1        | 20,4 | 20,6 | 20,9 | 20,9 | 21,3 | 21,6 | 21,8 | 22   |     |
|                    | 03 | 22          | 21,9 | 21,9 | 21,9 | 22,1 | 22   | 21,3 | 20,9 | 20,1 |     |
| Câmara fria        | 01 | 30,2        | 29,0 | 30,0 | 31,0 | 30,2 | 29,9 | 29,4 | 29,9 | 31,2 |     |
|                    | 02 | 30,0        | 31,6 | 31,9 | 32,9 | 32,9 | 31,0 | 29,8 | 30,0 | 28,1 |     |
|                    | 03 | 28,1        | 31,2 | 22,0 | 29,0 | 31,5 | 31,0 | 31,0 | 29,1 | 30,5 |     |
| Câmara de exaustão | 01 | 35,5        | 34,3 | 35,2 | 35,5 | 35,0 | 34,7 | 36,1 | 36,5 | 37,7 |     |
|                    | 02 | 38,8        | 38,5 | 39,4 | 38,5 | 36,0 | 35,3 | 34,2 | 34,4 | 36,3 |     |
|                    | 03 | 36,3        | 36,2 | 29,1 | 30,3 | 35,3 | 34,9 | 33,9 | 33,2 | 34,1 |     |
| Ar de secagem      | 01 | 103         | 115  | 115  | 92,6 | 99,9 | 104  | 121  | 103  | 109  |     |
|                    | 02 | 112         | 132  | 98,3 | 107  | 111  | 96,8 | 111  | 122  | 100  |     |
|                    | 03 | 100         | 123  | 100  | 116  | 109  | 109  | 88,4 | 116  | 85,8 |     |

Quadro 2.48. Variação da temperatura nas câmaras do secador 3 (Continuação)

| Temperatura (°C) |                    | Lote | Tempo (min) |      |      |      |      |
|------------------|--------------------|------|-------------|------|------|------|------|
|                  |                    |      | 180         | 200  | 220  | 240  | 260  |
| Temperatura (°C) | Ambiente           | 01   | 15,3        | 15,1 | 14,5 | 15,2 | 16,4 |
|                  |                    | 02   | 15,9        | 14,7 | 14,2 | 16,2 | 15,9 |
|                  |                    | 03   | 18,8        | 15,2 | -    | -    | -    |
|                  | Câmara de secagem  | 01   | 60,3        | 65,4 | 64,1 | 57,1 | 42,3 |
|                  |                    | 02   | 52,4        | 44,1 | 53,7 | 48,0 | 50,8 |
|                  |                    | 03   | 40,2        | 32,4 | -    | -    | -    |
|                  | Ar frio            | 01   | 20,1        | 20,4 | 20,6 | 20,9 | 20,9 |
|                  |                    | 02   | 21,9        | 21,9 | 21,9 | 22,1 | 22   |
|                  |                    | 03   | 19,5        | 18,9 | -    | -    | -    |
|                  | Câmara fria        | 01   | 30,0        | 31,6 | 31,9 | 32,9 | 32,9 |
|                  |                    | 02   | 31,2        | 22,0 | 29,0 | 31,5 | 31,0 |
|                  |                    | 03   | 28,5        | 24,0 | -    | -    | -    |
|                  | Câmara de exaustão | 01   | 38,8        | 38,5 | 39,4 | 38,5 | 36,0 |
|                  |                    | 02   | 36,2        | 29,1 | 30,3 | 35,3 | 34,9 |
|                  |                    | 03   | 31,8        | 26,8 | -    | -    | -    |
| Ar de secagem    | 01                 | 112  | 132         | 98,3 | 107  | 111  |      |
|                  | 02                 | 123  | 100         | 116  | 109  | 109  |      |
|                  | 03                 | 56,8 | 39,7        | -    | -    | -    |      |

No Quadro 2.48, observa-se que do início da primeira repetição ao final da terceira repetição do teste:

- 1) A temperatura ambiente teve uma variação máxima de 7°C, variando de 16,3 a 23,4°C.
- 2) A temperatura do ar na câmara de secagem teve uma variação máxima de 25,2°C. A variação média foi de 40,2 para 65,4°C. É recomendável que esta temperatura seja inferior àquela que poderá causar danos aos grãos.
- 3) A temperatura do ar frio do secador teve uma variação máxima de 6°C, variando de 16 a 22°C.
- 4) A temperatura da câmara fria do secador teve uma variação máxima de 11°C, variando de 22 a 33°C.

- 5) A temperatura do ar de exaustão teve uma variação máxima de 12°C, variando de 27 a 39°C. Quanto mais baixa a temperatura do ar de exaustão, melhor a eficiência energética do secador.
- 6) A temperatura do ar de secagem teve uma variação de 86 a 132°C, tendo uma variação máxima de 54°C. Durante o processo de secagem, foi observada uma variação de 34°C entre duas leituras consecutivas, no intervalo de 30 minutos, sendo que a temperatura passou de 98 °C para 132°C. No processo de secagem, é importante que não ocorram variações bruscas na temperatura do ar de secagem ou na temperatura do ar na câmara de secagem, como forma de diminuir a suscetibilidade à quebra dos grãos.

### Vazão de ar

O Quadro 2.49 mostra os resultados da medição da velocidade do ar, nos diferentes equipamentos do sistema de aquecimento e geração de calor.

Quadro 2.49. Medição da velocidade do ar no secador 3

| Entrada de ar | Área da fornalha | Fornalha                     |       |       | Vazão                          |      | Ciclone                     |       |       | Vazão                          |
|---------------|------------------|------------------------------|-------|-------|--------------------------------|------|-----------------------------|-------|-------|--------------------------------|
|               |                  | Velocidade do ar na fornalha |       |       | Área do ciclone                |      | Velocidade do ar no ciclone |       |       |                                |
| Número        | cm <sup>2</sup>  | m s <sup>-1</sup>            |       |       | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> |      | m s <sup>-1</sup>           |       |       | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> |
| 1             | 0,01             | 3,06                         | 6,10  | 8,20  | 0,17                           | 0,04 | 17,00                       | 21,80 | 15,80 | 2,10                           |
|               | 0,01             | 4,50                         | 6,60  | 7,20  | 0,18                           | 0,04 | 19,20                       | 18,20 | 21,90 | 2,28                           |
|               | 0,01             | 6,60                         | 7,40  | 7,20  | 0,21                           | 0,04 | 22,50                       | 18,00 | 16,30 | 2,19                           |
| 2             | 0,01             | 8,20                         | 9,10  | 12,00 | 0,29                           | 0,04 | 19,30                       | 20,30 | 18,90 | 2,11                           |
|               | 0,01             | 7,20                         | 7,10  | 7,80  | 0,22                           | 0,04 | 15,30                       | 18,30 | 20,90 | 1,96                           |
|               | 0,01             | 10,00                        | 10,00 | 7,60  | 0,28                           | 0,04 | 20,00                       | 17,10 | 19,60 | 2,04                           |
| 3             | 0,01             | 9,20                         | 8,50  | 9,70  | 0,27                           | 0,04 | 14,10                       | 19,30 | 18,00 | 1,98                           |
|               | 0,01             | 5,70                         | 7,10  | 8,00  | 0,21                           | 0,04 | 12,40                       | 16,70 | 23,10 | 2,01                           |
|               | 0,01             | 9,80                         | 10,90 | 11,60 | 0,32                           | 0,04 | 13,10                       | 17,90 | 19,20 | 1,93                           |
| 4             | 0,01             | 7,40                         | 10,50 | 13,50 | 0,31                           | 0,05 | 16,60                       | 21,40 | 23,60 | 3,02                           |
|               | 0,01             | 11,30                        | 11,30 | 8,60  | 0,31                           | 0,05 | 14,90                       | 16,00 | 23,10 | 2,65                           |
|               | 0,01             | 8,10                         | 8,00  | 8,10  | 0,24                           | 0,05 | 16,00                       | 16,50 | 22,20 | 2,68                           |
| 5             | 0,01             | 5,30                         | 5,80  | 9,80  | 0,21                           | 0,05 | 18,20                       | 16,70 | 22,40 | 2,81                           |
|               | 0,01             | 5,30                         | 6,80  | 6,90  | 0,19                           | 0,05 | 16,60                       | 13,70 | 21,90 | 2,56                           |
|               | 0,01             | 7,50                         | 8,70  | 8,30  | 0,25                           | 0,05 | 14,30                       | 15,80 | 21,20 | 2,51                           |
| 6             | 0,01             | 7,20                         | 10,50 | 8,60  | 0,26                           | 0,04 | 21,50                       | 19,30 | 23,10 | 2,68                           |
|               | 0,01             | 5,60                         | 8,20  | 6,90  | 0,21                           | 0,04 | 15,20                       | 14,60 | 21,80 | 2,17                           |
|               | 0,01             | 9,80                         | 11,00 | 10,90 | 0,32                           | 0,04 | 14,00                       | 16,80 | 23,60 | 2,28                           |
| 7             | 0,01             | 6,40                         | 9,30  | 11,80 | 0,28                           | 0,04 | 20,00                       | 20,60 | 23,80 | 2,48                           |
|               | 0,01             | 5,70                         | 8,00  | 10,00 | 0,24                           | 0,04 | 16,60                       | 16,50 | 21,10 | 2,09                           |
|               | 0,01             | 10,70                        | 10,00 | 11,10 | 0,32                           | 0,04 | 15,40                       | 19,00 | 21,60 | 2,16                           |
| 8             | 0,01             | 7,50                         | 10,40 | 14,30 | 0,32                           | 0,04 | 19,70                       | 20,70 | 23,20 | 2,23                           |
|               | 0,01             | 12,90                        | 9,40  | 8,80  | 0,31                           | 0,04 | 15,10                       | 18,20 | 24,00 | 2,01                           |
|               | 0,01             | 9,20                         | 8,40  | 8,10  | 0,26                           | 0,04 | 17,10                       | 14,60 | 19,70 | 1,80                           |

No Quadro 2.49, observa-se que a velocidade do ar nas entradas de ar da fornalha variou de 3 a 15 m s<sup>-1</sup>. De acordo com a literatura técnica (Silva, 2005), é recomendável que esta velocidade esteja em torno de 5 m s<sup>-1</sup>. Quando a velocidade do ar está acima do valor recomendado na literatura técnica, a tendência do ar é esfriar a chama dentro da fornalha, reduzindo a quantidade de energia disponível para secagem e de diminuir o tempo de residência dos gases na câmara de queima da fornalha.

O Quadro 2.50 mostra a medição de umidade do ar e teor de água dos grãos.

Quadro 2.50. Teor de água dos grãos e umidade relativa do ar

| Teor de água (% b.u.) | Motonco  | Tempo (min) |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|----------|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       |          | Lote        | 00    | 20   | 40   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  | 160  |
| Teor de água (% b.u.) | Motonco  | 01          | 21,7  | 21,0 | 23,4 | 21,6 | 18,0 | 18,9 | 18,7 | 17,0 | 16,8 |
|                       |          | 02          | 19,5  | 19,7 | 20,8 | 20,6 | 20,4 | 18,5 | 18,1 | 16,4 | 16,3 |
|                       |          | 03          | 20,7  | 18,8 | 19,4 | 19,8 | 19,1 | 20,3 | 21,5 | 16,7 | 17,4 |
|                       | Edabo    | 01          | 23,1  | 22,9 | 22,8 | 17,0 | 20,0 | 20,3 | 17,5 | 17,0 | 14,9 |
|                       |          | 02          | 19,47 | 22,9 | 22,6 | 21,7 | 20,0 | 16,7 | 19,4 | 17,9 | 17,1 |
|                       |          | 03          | 21,4  | 18,8 | 20,7 | 21,5 | 21,2 | 21,7 | 22,7 | 17,8 | 17,1 |
|                       | Ambiente | 01          | 49    | 50   | 51   | 50   | 50   | 51   | 51   | 51   | 51   |
|                       |          | 02          | 50    | 48   | 47   | 46   | 44   | 43   | 41   | 38   | 37   |
|                       |          | 03          | 37    | 38   | 34   | 35   | 34   | 35   | 34   | 34   | 33   |
| Teor de água (% b.u.) | Motonco  | Tempo (min) |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                       |          | Lote        | 180   | 200  | 220  | 240  | 260  |      |      |      |      |
| Teor de água (% b.u.) | Motonco  | 01          | 14,5  | 15,2 | 16,4 | -    | -    |      |      |      |      |
|                       |          | 02          | 14,2  | 16,2 | 15,9 | -    | -    |      |      |      |      |
|                       |          | 03          | -     | -    | -    | -    | -    |      |      |      |      |
|                       | Edabo    | 01          | 14,9  | 14,5 | 16,0 | 17,0 | -    |      |      |      |      |
|                       |          | 02          | 14,8  | 14,4 | 16,4 | 16,0 | 17,9 |      |      |      |      |
|                       |          | 03          | -     | -    | -    | -    | -    |      |      |      |      |
|                       | Ambiente | 01          | 47    | 46   | 44   | -    | -    |      |      |      |      |
|                       |          | 02          | 35    | 34   | 35   | -    | -    |      |      |      |      |
|                       |          | 03          | -     | -    | -    | -    | -    |      |      |      |      |

No Quadro 2.50, observa-se a ocorrência de pequena variação no teor de água entre as leituras feitas no Edabo (método direto) e pelo aparelho Motonco (método indireto), comprovando que o equipamento baseado no método indireto estava calibrado, tendo um erro médio máximo de 8%.

## Energia

A massa de lenha gasta para cada lote de 60 t de grãos secados nos testes de secagem foram de 2.080,00 kg (693,93 kg de lenha h<sup>-1</sup>) para o teste 1; 1.710 kg (570,00 kg de lenha h<sup>-1</sup>) para o teste 2; e 1.850 kg (616,67 kg de lenha h<sup>-1</sup>) para o teste 3, respectivamente.

## Fluxo e massa específica dos grãos

O fluxo de grãos no secador foi de 1,43 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>, supondo uma massa específica de 700 kg m<sup>-3</sup> e uma capacidade de secagem de 60 t h<sup>-1</sup>.

O Quadro 2.51 apresenta a estimativa da variação da massa específica de milho durante a operação de secagem.

Quadro 2.51. Variação da massa específica de milho na operação de secagem (Continua)

| Lote | Tempo (min) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | 00          | 20    | 40    | 60    | 80    | 100   | 120   | 140   | 160   |
| 01   | 657,1       | 659,1 | 660,1 | 704,8 | 684,5 | 682,2 | 701,8 | 704,8 | 715,3 |
| 02   | 688,6       | 659,1 | 662,0 | 670,3 | 684,5 | 706,5 | 689,1 | 699,4 | 704,2 |
| 03   | 673,0       | 693,4 | 678,9 | 672,1 | 674,7 | 670,3 | 661,0 | 700,0 | 704,2 |

Quadro 2.51. Variação da massa específica de milho na operação de secagem (Continuação)

| Lote | Tempo (min) |       |       |       |       |
|------|-------------|-------|-------|-------|-------|
|      | 180         | 200   | 220   | 240   | 260   |
| 01   | 715,3       | 716,9 | 710,2 | 704,8 | -     |
| 02   | 715,7       | 717,3 | 708,1 | 710,2 | 699,4 |
| 03   | -           | -     | -     | -     | -     |

De acordo com os dados apresentados no Quadro 2.51, a massa específica do milho aumenta com a diminuição do teor de água, durante o processo de secagem.

## Análise do sistema de secagem

### Secador tipo torre com fluxos mistos

Com os dados psicrométricos do ambiente, do produto e dados coletados durante o processo de secagem, obteve-se a avaliação do secador da unidade armazenadora de Guaíra, na secagem de milho no período de safra 2004/2005.

O Quadro 2.52 apresenta o teste, realizado na unidade armazenadora de Guaíra.

Quadro 2.52. Teste do secador tipo torre de fluxos mistos para a unidade armazenadora de Guaira (Continua)

| Secador 3 – Trabalhando com câmara de secagem completa – Temperatura da fôrnalha = 1113 °C – Produto milho – Altitude 517 m |                            |      |  |           |           |           |   |           |           |           |                                  |           |           |
|---|----------------------------|------|--|-----------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|
|   |                            | Lote | Tempo de carga do secador ou de secagem de grãos na recirculação (min) |           |           |           | Tempo de secagem da massa de grãos no período de recirculação dos grãos (min) |           |           |           | Tempo de descarga de grãos (min) |           |           |
|   |                            |      | 00   | 20        | 40        | 60        | 80  | 100       | 120       | 140       | 160                              | 180       | 200       |
| Teor de água (% b.u.)   | Motonco                    | 01   | 21,7   | 21,0      | 23,4      | 21,6      | 18,0  | 18,9      | 18,7      | 17,0      | 16,8                             | 15,3      | 15,1      |
|   |                            | 02   | 19,5   | 19,7      | 20,8      | 20,6      | 20,4  | 18,5      | 18,1      | 16,4      | 16,3                             | 15,9      | 14,7      |
|   |                            | 03   | 20,7   | 18,8      | 19,4      | 19,8      | 19,1  | 20,3      | 21,5      | 16,7      | 17,4                             | 18,8      | 15,2      |
| Umidade relativa Psic –calculada/ Medida – psi digital  | Ambiente                   | 01   | 56,48/49   | 53,18/50  | 53,18/51  | 54,44/50  | 47,69/50  | 51,33/51  | 47,82/51  | 46,97/51  | 45,33/51                         | 42,33/50  | 39,85/48  |
|   |                            | 02   | 42,33/50   | 39,85/48  | 45,34/47  | 41,32/46  | 39,94/44  | 37,63/43  | 35,08/41  | 36,12/38  | 37,15/37                         | 37,15/38  | 34,09/34  |
|   |                            | 03   | 37,15/37   | 37,15/38  | 34,09/34  | 41,19/35  | 37,6/34   | 34,67/35  | 40,83/34  | 45,6/34   | 45,6/33                          | 44,36/34  | 51,33/33  |
| Temperatura (°C)  | Ambiente/ (Psic./Term dig) | 01   | 17/16,1  | 17,5/16,4 | 17,5/16,9 | 17,9/17,1 | 19,5/17,6   | 19,0/18,3 | 19,6/18,5 | 20,0/18,6 | 20,8/19,6                        | 21,0/20,1 | 21,5/20,4 |
|   |                            | 02   | 21/20,1  | 21,5/20,4 | 21,3/20,6 | 22,1/20,9 | 22/20,9   | 22,1/21,3 | 22,4/21,6 | 22,7/21,8 | 23/22                            | 23/21,9   | 22,9/21,9 |
|   |                            | 03   | 23/22  | 23/21,9   | 22,9/21,9 | 22,9/21,9 | 22,9/22,1   | 22,9/22   | 21,3/21,3 | 21,0/20,9 | 20,5/20,1                        | 19,6/19,5 | 19/18,9   |
|   | Câmara de secagem          | 01   | 49,5   | 59,4      | 50,5      | 49,8      | 52,4  | 48,1      | 58,3      | 56,5      | 60,9                             | 60,3      | 65,4      |
|   |                            | 02   | 60,3   | 65,4      | 64,1      | 57,1      | 42,3  | 51,0      | 44,1      | 47,3      | 57,6                             | 52,4      | 44,1      |
|   |                            | 03   | 57,6   | 52,4      | 44,1      | 53,7      | 48,0  | 50,8      | 47,1      | 45,8      | 43,5                             | 40,2      | 32,4      |
|   | Neutra                     | 01   | 55,4   | 63,1      | 59,4      | 52,6      | 52,0  | 51,9      | 59,4      | 60,0      | 63,0                             | 63,0      | 66,9      |
|   |                            | 02   | 63,0   | 66,9      | 70,1      | 60,0      | 54,0  | 53,7      | 49,4      | 56,4      | 58,9                             | 61,5      | 45,3      |
|   |                            | 03   | 58,9   | 61,5      | 45,3      | 57,0      | 56,0  | 51,8      | 56,7      | 55,6      | 50,6                             | 44,7      | 34,0      |
|   | Câmara fria                | 01   | 30,2   | 29,0      | 30,0      | 31,0      | 30,2  | 29,9      | 29,4      | 29,9      | 31,2                             | 30,0      | 31,6      |
|   |                            | 02   | 30,0   | 31,6      | 31,9      | 32,9      | 32,9  | 31,0      | 29,8      | 30,0      | 28,1                             | 31,2      | 22,0      |
|   |                            | 03   | 28,1   | 31,2      | 22,0      | 29,0      | 31,5  | 31,0      | 31,0      | 29,1      | 30,5                             | 28,5      | 24,0      |
|   | Exaustão                   | 01   | 35,5   | 34,3      | 35,2      | 35,5      | 35,0  | 34,7      | 36,1      | 36,5      | 37,7                             | 38,8      | 38,5      |
|   |                            | 02   | 38,8   | 38,5      | 39,4      | 38,5      | 36,0  | 35,3      | 34,2      | 34,4      | 36,3                             | 36,2      | 29,1      |
|   |                            | 03   | 36,3   | 36,2      | 29,1      | 30,3      | 35,3  | 34,9      | 33,9      | 33,2      | 34,1                             | 31,8      | 26,8      |
|   | Ar de secagem              | 01   | 103  | 115       | 115       | 92,6      | 99,9  | 104       | 121       | 103       | 109                              | 112       | 132       |
|   |                            | 02   | 112  | 132       | 98,3      | 107       | 111   | 96,8      | 111       | 122       | 100                              | 123       | 100       |
|   |                            | 03   | 100  | 123       | 100       | 116       | 109   | 109       | 88,4      | 116       | 85,8                             | 56,8      | 39,7      |
|   | Ar frio                    | 01   | 49,4   | 49,2      | 52,5      | 47,2      | 49,7  | 53,2      | 55,6      | 53,0      | 56,1                             | 56,7      | 62,3      |
|   |                            | 02   | 56,7   | 62,3      | 53,6      | 53,9      | 56,2  | 52,7      | 57,2      | 61,2      | 53,3                             | 60,8      | 53,2      |
|   |                            | 03   | 53,3   | 60,8      | 53,2      | 55,5      | 53,0  | 54,2      | 46,9      | 53,5      | 45,2                             | 34,4      | 20,3      |

Quadro 2.52. Teste do secador tipo torre de fluxos mistos para a unidade armazenadora de Guaira (Continuação)

| Secador 3 – Trabalhando com câmara de secagem completa – Temperatura da fornalha = 1113 °C – Produto milho – Altitude 517 m |               |      |  |           |          |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---------------|------|--|-----------|----------|--|--|--|--|--|--|--|
|   |               |      | Tempo de<br>descarga de<br>grãos (min) |           |          |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | Lote | 220                                    | 240       | 260      |  |  |  |  |  |  |  |
| Teor de água (% b.u.)   | Motonco       | 01   | 14,5                                   | 15,2      | 16,4     |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 02   | 14,2                                   | 16,2      | 15,9     |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 03   | -                                      | -         | -        |  |  |  |  |  |  |  |
| Umidade Relativa<br>Psic –calculada/<br>Medida – psi digital  | Ambiente      | 01   | 45,34/47                               | 41,32/46  | 39,94/44 |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 02   | 41,19/35                               | 37,60/34  | 34,67/35 |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 03   | -                                      | -         | -        |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 01   | 21,3/20,6                              | 22,1/20,9 | 22/20,9  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Ambiente      | 02   | 22,9/21,9                              | 22,9/22,1 | 22,9/22  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 03   | -                                      | -         | -        |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 01   | 64,1                                   | 57,1      | 42,3     |  |  |  |  |  |  |  |
|   | C. de secagem | 02   | 53,7                                   | 48,0      | 50,8     |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 03   | -                                      | -         | -        |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 01   | 70,1                                   | 60,0      | 54,0     |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Neutra        | 02   | 57,0                                   | 56,0      | 51,8     |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 03   | -                                      | -         | -        |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 01   | 31,9                                   | 32,9      | 32,9     |  |  |  |  |  |  |  |
| Temperatura<br>(°C)   | Câmara fria   | 02   | 29,0                                   | 31,5      | 31,0     |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 03   | -                                      | -         | -        |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 01   | 39,4                                   | 38,5      | 36,0     |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Exaustão      | 02   | 30,3                                   | 35,3      | 34,9     |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 03   | -                                      | -         | -        |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 01   | 98,3                                   | 107       | 111      |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Ar de secagem | 02   | 116                                    | 109       | 109      |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 03   | -                                      | -         | -        |  |  |  |  |  |  |  |
|   |               | 01   | 53,6                                   | 53,9      | 56,2     |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Ar frio       | 02   | 55,5                                   | 53,0      | 54,2     |  |  |  |  |  |  |  |

Quadro 2.52. Teste do secador tipo torre de fluxos mistos para a unidade armazenadora de Guaira (Continuação)

| Lote | Consumo de lenha<br>kg | Secador, tempo (h) |          | T <sub>inicial</sub> do grão<br>(°C) | Duração da secagem (h) |       | Carga<br>(t) | Data     |
|------|------------------------|--------------------|----------|--------------------------------------|------------------------|-------|--------------|----------|
|      |                        | Carga              | Descarga |                                      | Início                 | Fim   |              |          |
| 01   | 2080,00                | 1:00               | 1:00     | 17                                   | 8:40                   | 11:40 | 60           | 22/07/04 |
| 02   | 1710,00                | 1:00               | 1:00     | 21                                   | 11:40                  | 14:20 | 60           | 22/07/04 |
| 03   | 1850,00                | 1:00               | 1:00     | 23                                   | 14:20                  | 17:20 | 60           | 22/07/04 |

De acordo com o Quadro 2.52 para a unidade armazenadora de Guaira, o tempo de secagem foi de 3 horas. O teor de água médio inicial passou de 20,5 a 14,5 % b.u., consumindo, em média, 1880 kg de lenha para secar um lote de 60 t de milho. Este consumo de lenha é baixo, quando comparado com outros sistemas e a adoção de procedimentos na operação de secagem podem reduzir ainda mais o consumo de lenha.

### Consumo de energia e eficiência dos secadores

Com os dados coletados no processo de secagem de um lote de milho, foi possível determinar o consumo de energia e a eficiência de secagem dos equipamentos instalados na unidade armazenadora.

O Quadro 2.53 mostra o consumo de energia e a eficiência de secagem do secador tipo torre de fluxos mistos, na secagem de 60 t de milho.

Quadro 2.53. Consumo de energia e eficiência de secagem do secador tipo torre de fluxos mistos

| Combustível   | lenha     |                             |
|---|-----------|-----------------------------|
| Consumo na fornalha - medido  | 626,67    | kg h <sup>-1</sup>          |
| Poder calorífico inferior - medido                                  | 17.500,00 | kJ kg <sup>-1</sup>         |
| Produto   | milho     |                             |
| Teor inicial de água - medido                                       | 14,50     | % b.u.                      |
| Teor final de água - medido   | 20,50     | % b.u.                      |
| Massa inicial de produto (milho) - nominal                          | 60.000,00 | kg                          |
| Tempo de secagem - medido   | 3,00      | h                           |
| Calor latente de vaporização do milho                               | 2.322,42  | kJ kg <sup>-1</sup>         |
| Consumo de energia elétrica - estimado                              | 608,30    | kWh                         |
| Consumo de energia elétrica - estimado                              | 2.189,88  | MJ                          |
| Calor latente de vaporização da água                                | 2.500,00  | kJ kg <sup>-1</sup>         |
| Perda de peso devido à redução no teor de água                      | 4.210,53  | kg de água                  |
| Consumo específico de energia (CEE)                                 | 8.333,85  | kJ kg <sup>-1</sup> de água |
| Consumo específico de energia (CEE) sem considerar energia elétrica | 7.813,75  | kJ kg <sup>-1</sup> de água |
| Eficiência do secador   | 27,87     | %                           |

De acordo com o Quadro 2.53, o consumo específico (CEE) do secador da unidade armazenadora de Guaira foi de 8.333,85 kJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada e de 7.813,75 kJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada; não considerando a energia elétrica gasta e a eficiência do secador considerando a energia elétrica gasta, foi de 27,87%. Este valor de consumo específico não é satisfatório, significando que os procedimentos adotados no processo de secagem podem até estar sendo bem executados, porém de forma não otimizada. Este valor é semelhante ao de outros secadores do mesmo tipo,

considerando-se que esses também não trabalham de forma otimizada. Portanto, existe possibilidade de melhoria da eficiência do secador.

### Parâmetros de avaliação do sistema de secagem

Conforme Bakker-Arkema et al. (1978) e Silva (2000), os parâmetros a serem considerados na avaliação de desempenho dos secadores são dados no Quadro 2.54.

Quadro 2.54. Resultado experimental da avaliação energética do sistema de secagem

| Parâmetro   | Repet. 1  | Repet. 2  | Repet 3   |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Dos grãos – milho:  |           |           |           |
| Teor inicial médio de água, % bu - medido                       | 20,03     | 20,00     | 19,63     |
| Teor final médio de água, % bu - medido                         | 15,36     | 15,43     | 15,2      |
| Temperatura média inicial, °C - medida                          | 17        | 21        | 23        |
| Temperatura média final, °C - medida                            | 32,57     | 30,5      | 26,5      |
| Impurezas, % - estimada   | <1,0      | <1,0      | <1,0      |
| Massa específica inicial, kg.m <sup>-3</sup> - calculada        | 657,1     | 688,6     | 673,0     |
| Massa específica final, kg.m <sup>-3</sup> - calculada          | 704,8     | 710,2     | 704,2     |
| Massa inicial, kg – dado nominal                                | 60.000,00 | 60.000,00 | 60.000,00 |
| Massa final, kg – dado nominal                                  | 56.689,51 | 56.757,72 | 56.865,57 |
| Do ar:  |           |           |           |
| Temperatura média de secagem, °C - medida                       | 112       | 113       | 110       |
| Temperatura média ambiente, °C - medida                         | 16,8      | 22,0      | 19,3      |
| Umidade relativa média ambiente, % - medida                     | 49,3      | 41,5      | 34,9      |
| Do secador:   |           |           |           |
| Fluxo de ar, m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> | 1,43      | 1,43      | 1,43      |
| Espessura da camada, m – dado nominal                           | 13,60     | 13,60     | 13,60     |
| Área de secagem, m <sup>2</sup> – dado nominal                  | 11,4      | 11,4      | 11,4      |
| Pressão estática, mmca  | -         | -         | -         |
| De energia:   |           |           |           |
| Tipo de combustível   | lenha     | lenha     | lenha     |
| Massa de combustível, kg - medida                               | 2080,00   | 1710,00   | 1850,00   |
| Poder calorífico, kj. Kg <sup>-1</sup> - medido                 | 17.500,00 | 17.500,00 | 17.500,00 |
| Energia elétrica, kwh - estimado                                | 608,30    | 608,30    | 608,30    |
| De desempenho:  |           |           |           |
| Duração do teste, h - medido                                    | 3         | 3         | 3         |
| Redução de umidade, % bu - calculado                            | 6,45      | 6,33      | 6,10      |
| Eficiência energética:  |           |           |           |
| Com energia elétrica, kj.kg <sup>-1</sup> - calculado           |           | 8.333,85  |           |
| Sem energia elétrica, kj.kg <sup>-1</sup> - calculado           |           | 7.813,75  |           |

O Quadro 2.55 mostra a simulação do processo de secagem, utilizando-se o modelo de Thompson para secadores de fluxo misto.

Quadro 2.55. Simulação do processo de secagem, utilizando-se o modelo de Thompson para secadores de fluxo misto (Continua)

| Dados de entrada:  |              |
|--|--------------|
| Produto  | Milho        |
| Teor inicial de água (% b.u.)  | 19,8         |
| Temperatura inicial do produto (°C)  | 27,1         |
| Massa específica do produto (kg m <sup>-3</sup> )  | 721          |
| Teor final de água (% b.u.)  | 13,8         |
| Área da seção transversal da caixa de calhas (m <sup>2</sup> )   | 6,62         |
| Comprimento de cada calha (m)  | 1,9          |
| Distância vertical entre calhas de saída e entrada de ar (m)   | 0,3          |
| Área da seção transversal das calhas (m <sup>2</sup> )   | 0,0138       |
| Largura da base de cada calha (m)  | 0,12         |
| Número de calhas em cada fileira horizontal de calhas  | 20           |
| Volume da caixa silo na parte superior do secador (m <sup>3</sup> )  | 12,54        |
| Número de fileiras calhas entrada de ar primeiro estágio   | 8            |
| Número de fileiras calhas saída de ar primeiro estágio   | 8            |
| Número de fileiras calhas fechadas após o primeiro estágio   | 3            |
| Vazão de ar de secagem do primeiro estágio (m <sup>3</sup> (h <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> grãos))        | 2205         |
| Temperatura do ar de secagem no primeiro estágio (°C)  | 100          |
| Número de fileiras calhas entrada de ar segundo estágio  | 8            |
| Número de fileiras calhas saída de ar segundo estágio  | 8            |
| Número de fileiras calhas fechadas após o segundo estágio  | 3            |
| Vazão de ar de secagem do segundo estágio (m <sup>3</sup> (h <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> grãos))         | 1470         |
| Temperatura do ar de secagem no segundo estágio (°C)   | 100          |
| Número de fileiras calhas entrada de ar do estágio de resfriamento   | 8            |
| Número de fileiras calhas saída de ar do estágio de resfriamento   | 8            |
| Número de fileiras calhas fechadas após do estágio de resfriamento   | 3            |
| Vazão de ar de secagem do estágio de resfriamento (m <sup>3</sup> (h <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> grãos)) | 735          |
| Temperatura do ar de secagem do estágio de resfriamento (°C)   | 27,5         |
| Temperatura ambiente (°C)  | 27,7         |
| Umidade relativa ambiente (%)  | 56,1         |
| Altitude local (m)   | 605          |
| Modo de operação do secador  | Intermitente |
| Resfriamento inicia quando o teor de água de saída atingir (% b.u.)  | 14,5         |
| Capacidade de transporte do elevador (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )                                     | 114          |
| Reaproveitamento do ar do segundo estágio de secagem   | Não          |
| Reaproveitamento do ar do segundo estágio de resfriamento  | Não          |
| Resultados da simulação:   |              |
| Tempo de residência do produto no secador (h)  | 4,00         |
| Capacidade estática do secador (m <sup>3</sup> )   | 91,27        |
| Capacidade estática do secador (t)   | 65,80        |
| Capacidade de secagem (t h <sup>-1</sup> )   | 16,44        |
| Teor de água na saída do secador (% b.u.)  | 13,79        |
| Temperatura média de saída do ar do primeiro estágio (°C)  | 56,82        |
| Umidade relativa de saída do ar do primeiro estágio (%)  | 16,20        |
| Temperatura média de saída do ar do segundo estágio (°C)   | 65,76        |

Quadro 2.55. Simulação do processo de secagem, utilizando-se o modelo de Thompson para secadores de fluxo misto (Continuação)

|   |                  |                  |
|---|------------------|------------------|
| Umidade relativa de saída do ar do segundo estágio (%)                            | 11,65            |                  |
| Temperatura média de saída do ar do resfriamento (°C)                             | 60,17            |                  |
| Umidade relativa de saída do ar do resfriamento (%)                               | 13,72            |                  |
| Vazão de ar total utilizada no primeiro estágio (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) | 48785,30         |                  |
| Vazão de ar total utilizada no segundo estágio (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )  | 32523,53         |                  |
| Vazão de ar total utilizada no resfriamento (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )     | 16261,77         |                  |
| Consumo horário de energia (kcal h <sup>-1</sup> )                                | 1692108,27       |                  |
| Quantidade de água removida por hora (t de água h <sup>-1</sup> )                 | 1,15             |                  |
| Consumo específico de energia (kcal (kg de água) <sup>-1</sup> )                  | 1475,66          |                  |
| Consumo específico de energia (kJ (kg de água) <sup>-1</sup> )                    | 6177,70          |                  |
| Perfil de temperatura e umidade do produto no secador:                            |                  |                  |
| Local   | Umidade (% b.u.) | Temperatura (°C) |
| Caixa do silo   | 13,95            | 51,30            |
| Caixa do silo   | 14,04            | 50,80            |
| Caixa do silo   | 14,04            | 50,79            |
| Caixa do silo   | 14,04            | 50,79            |
| Caixa do silo   | 14,04            | 50,79            |
| Caixa do silo   | 14,04            | 50,79            |
| Caixa do silo   | 14,04            | 50,79            |
| Caixa do silo   | 14,04            | 50,79            |
| Caixa do silo   | 14,04            | 50,79            |
| Primeiro estágio  | 14,04            | 50,79            |
| Primeiro estágio  | 14,02            | 52,67            |
| Primeiro estágio  | 14,01            | 52,51            |
| Primeiro estágio  | 13,99            | 54,30            |
| Primeiro estágio  | 13,98            | 54,13            |
| Primeiro estágio  | 13,96            | 55,83            |
| Primeiro estágio  | 13,95            | 55,64            |
| Primeiro estágio  | 13,92            | 57,27            |
| Primeiro estágio  | 13,91            | 57,07            |
| Primeiro estágio  | 13,89            | 58,62            |
| Primeiro estágio  | 13,87            | 58,42            |
| Primeiro estágio  | 13,85            | 59,89            |
| Primeiro estágio  | 13,83            | 59,68            |
| Primeiro estágio  | 13,81            | 61,10            |
| Primeiro estágio  | 13,80            | 60,91            |
| Primeiro estágio  | 13,77            | 62,28            |
| Primeiro estágio  | 13,76            | 62,08            |
| Primeiro estágio  | 13,76            | 62,08            |
| Primeiro estágio  | 13,76            | 62,08            |
| Segundo estágio   | 13,76            | 62,08            |
| Segundo estágio   | 13,73            | 63,38            |
| Segundo estágio   | 13,72            | 63,16            |
| Segundo estágio   | 13,69            | 64,40            |
| Segundo estágio   | 13,67            | 64,17            |

Quadro 2.55. Simulação do processo de secagem, utilizando-se o modelo de Thompson para secadores de fluxo misto (Continuação)

|                 |       |       |
|-----------------|-------|-------|
| Segundo estágio | 13,65 | 65,35 |
| Segundo estágio | 13,63 | 65,10 |
| Segundo estágio | 13,60 | 66,22 |
| Segundo estágio | 13,58 | 65,97 |
| Segundo estágio | 13,55 | 67,04 |
| Segundo estágio | 13,53 | 66,78 |
| Segundo estágio | 13,50 | 67,80 |
| Segundo estágio | 13,48 | 67,53 |
| Segundo estágio | 13,45 | 68,50 |
| Segundo estágio | 13,43 | 68,23 |
| Segundo estágio | 13,40 | 69,16 |
| Segundo estágio | 13,37 | 68,88 |
| Segundo estágio | 13,37 | 68,88 |
| Segundo estágio | 13,37 | 68,88 |
| Resfriamento    | 13,37 | 68,88 |
| Resfriamento    | 13,34 | 66,58 |
| Resfriamento    | 13,33 | 66,34 |
| Resfriamento    | 13,30 | 64,22 |
| Resfriamento    | 13,28 | 64,01 |
| Resfriamento    | 13,26 | 62,05 |
| Resfriamento    | 13,25 | 61,86 |
| Resfriamento    | 13,22 | 60,04 |
| Resfriamento    | 13,21 | 59,86 |
| Resfriamento    | 13,19 | 58,12 |
| Resfriamento    | 13,18 | 57,96 |
| Resfriamento    | 13,16 | 56,33 |
| Resfriamento    | 13,15 | 56,17 |
| Resfriamento    | 13,13 | 54,64 |
| Resfriamento    | 13,12 | 54,50 |
| Resfriamento    | 13,11 | 53,06 |
| Resfriamento    | 13,10 | 52,93 |
| Resfriamento    | 13,10 | 52,93 |
| Resfriamento    | 13,09 | 52,84 |

De acordo com o Quadro 2.55, os resultados da simulação se aproximaram dos valores obtidos experimentalmente, tanto na unidade armazenadora de Ituverava, quanto na unidade armazenadora de Guaira.

### Curva de secagem

De acordo com os dados obtidos para a variação do teor de água no tempo, durante o processo de secagem, obteve-se a curva de secagem para os dados médios da 2ª repetição do teste de secagem, Figura 2.17.

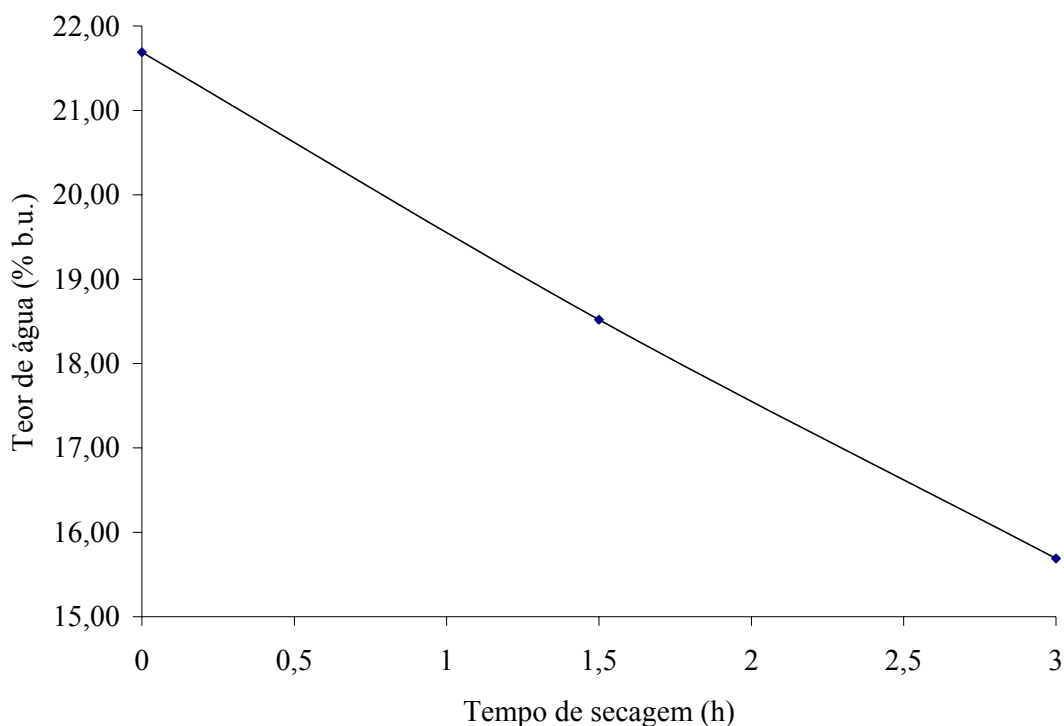


Figura 2.17. Curva de secagem para o produto milho em secador de fluxos mistos.

Na Figura 2.17, observa-se que os grãos, que entraram inicialmente no secador, com teor médio de água de 21,69% b.u., após uma hora e trinta minutos, início da recirculação dos grãos, estavam com um teor médio de água de 18,52% b.u. Esta massa de grãos depois da recirculação, após mais uma hora e trinta minutos, apresentava um teor de água médio de 15,69% b.u.

Observou-se que, como o grão só foi secado até o teor de água de 15,69% b.u., devido as práticas operacionais da unidade armazenadora, praticamente, houve uma secagem constante, pois, nesta faixa de umidade, a água dos grãos é desprendida facilmente. Após atingir este teor de água, a tendência é ocorrer uma pequena variação do teor de umidade, para um longo período de tempo, até os grãos atingirem um teor médio de água de 13%.

### **Custos de secagem em secador tipo torre de fluxos mistos**

Estimou-se o custo de secagem para as duas unidades armazenadoras da CAROL, utilizando-se o programa computacional “Custo de secagem de grãos em secador tipo cascata”, desenvolvido por Queiroz e Valente (2004), considerando-se o

reaproveitamento ou não do ar de exaustão nos secadores. Os secadores da CAROL não possuem sistema de reaproveitamento do ar de exaustão.

No Quadro 2.56, apresenta-se os dados de entrada para simulação do custo de secagem de grãos da unidade armazenadora de Guaíra, em secador do tipo cascata, considerando ou não, o reaproveitamento duplo do ar

Quadro 2.56. Dados de entrada para simulação do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata

|  |              |
|--|--------------|
| Escolha do produto   |              |
| Produto:   | milho        |
| Dados sobre o produto  |              |
| Teor inicial médio de água (% b.u.)  | 22           |
| Teor médio de água na saída do secador (% b.u.)  | 13           |
| Tipo de secador  |              |
| Fonte de aquecimento do ar   |              |
| Combustível  | lenha        |
| Poder calorífico ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ) - medido  | 17.500       |
| Preço da lenha ( $\text{R\$ t}^{-1}$ ) - estimado  | 50,00        |
| Dados gerais sobre o sistema de secagem  |              |
| Capacidade de secagem ( $\text{t h}^{-1}$ ) - nominal  | 60           |
| Potência total do sistema de movimentação de grãos e de ar - medido                                  | 125          |
| Tempo de utilização ( $\text{h ano}^{-1}$ ) - estimado   | 2.520        |
| Vida útil do secador e transportadores (ano) - estimado  | 20           |
| Vida útil do queimador/fornalha (ano) - estimado   | 20           |
| Demais dados para análise econômica  |              |
| Preço de aquisição do sistema de secagem excluindo a fornalha (R\$) - estimado                       | 2.000.000,00 |
| Preço de aquisição do queimador/fornalha (R\$) - estimado  | 50.000,00    |
| Valor de sucata (% do preço de aquisição) - estimado   | 10           |
| Juros sobre o capital médio investido (% ao ano) - estimado  | 12           |
| Taxas de seguro, impostos e alojamento (% do preço de aquisição) - estimado                          | 2            |
| Reparos e manutenção secador/transportadores (% do preço de aquisição $\text{ano}^{-1}$ ) - estimado | 3            |
| Salários da mão de obra direta ( $\text{R\$ mês}^{-1}$ ) - estimado                                  | 25.600,00    |
| Encargos sociais (% do salário) - estimado   | 70           |
| Horas trabalhadas por mês por trabalhador - estimado   | 504          |
| Valor do salário total do pessoal administrativo ( $\text{R\$ mês}^{-1}$ ) - estimado                | 15.000,00    |
| Rateio salário pessoal administrativo para o sistema de secagem (% do total) - estimado              | 15           |
| Preço da energia elétrica ( $\text{R\$ kWh}^{-1}$ ) - estimado                                       | 0,4          |

No Quadro 2.57, é apresentado o resultado da simulação do custo de secagem de grãos da unidade armazenadora de Guaíra, em secador do tipo cascata, considerando ou não o reaproveitamento de ar.

Quadro 2.57. Resultado da simulação do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata não considerando-se o reaproveitamento do ar

| Resultados  |            |
|---|------------|
| Custos fixos  |            |
| Depreciação (R\$ ano <sup>-1</sup> )                  | 114.750,00 |
| Juros (R\$ ano <sup>-1</sup> )                        | 140.250,00 |
| Seguro, impostos, alojamento (R\$ ano <sup>-1</sup> ) | 51.000,00  |
| Mão-de-obra indireta (R\$ ano <sup>-1</sup> )         | 45.900,00  |
| Custo fixo total (R\$ ano <sup>-1</sup> )             | 351.900,00 |
| Custo fixo total (R\$ hora <sup>-1</sup> )            | 139,64     |
| Custo fixo total (R\$ t <sup>-1</sup> )               | 5,33       |
| Custos Variáveis                                      |            |
| Energia para aquecimento do ar (R\$ h <sup>-1</sup> ) | 44,11      |
| Energia elétrica (R\$ h <sup>-1</sup> )               | 36,78      |
| Mão-de-obra direta (R\$ h <sup>-1</sup> )             | 86,35      |
| Reparos e manutenção (R\$ h <sup>-1</sup> )           | 30,36      |
| Custo variável total (R\$ h <sup>-1</sup> )           | 197,59     |
| Custo variável total (R\$ t <sup>-1</sup> )           | 7,54       |
| Custos totais   |            |
| Custo total (R\$ h <sup>-1</sup> )                    | 337,24     |
| Custo total (R\$ t <sup>-1</sup> )                    | 12,87      |

O Quadro 2.58 apresenta os resultados da simulação feita para o custo de secagem de grãos, em secador tipo cascata, considerando-se o reaproveitamento duplo do ar.

Quadro 2.58. Resultado da simulação do custo de secagem de grãos em secador tipo cascata considerando-se o reaproveitamento do ar

| Resultados  |            |
|---|------------|
| Custos Fixos  |            |
| Depreciação (R\$/ano)                                 | 114.750,00 |
| Juros (R\$/ano)                                       | 140.250,00 |
| Seguro, impostos, alojamento (R\$ ano <sup>-1</sup> ) | 51.000,00  |
| Mão-de-obra indireta (R\$ ano <sup>-1</sup> )         | 45.900,00  |
| Custo fixo total (R\$ ano <sup>-1</sup> )             | 351.900,00 |
| Custo fixo total (R\$ h <sup>-1</sup> )               | 139,64     |
| Custo fixo total (R\$ t <sup>-1</sup> )               | 5,33       |
| Custos Variáveis                                      |            |
| Energia para aquecimento do ar (R\$ h <sup>-1</sup> ) | 35,96      |
| Energia elétrica (R\$ h <sup>-1</sup> )               | 36,78      |
| Mão-de-obra direta (R\$ h <sup>-1</sup> )             | 86,35      |
| Reparos e manutenção (R\$ h <sup>-1</sup> )           | 30,36      |
| Custo variável total (R\$ h <sup>-1</sup> )           | 189,44     |
| Custo variável total (R\$ t <sup>-1</sup> )           | 7,23       |
| Custos totais   |            |
| Custo total (R\$ h <sup>-1</sup> )                    | 329,08     |
| Custo total (R\$ t <sup>-1</sup> )                    | 12,56      |

No Quadro 2.57, observa-se que o custo de secagem na unidade armazenadora de Guaíra foi de R\$ 12,87, por tonelada de grãos secados. Entretanto, no Quadro 2.58, em que se considera o reaproveitamento duplo de ar no processo de secagem, o custo foi reduzido para R\$ 12,56.

Com a reutilização de parte do ar de resfriamento e de exaustão em ambas as unidades armazenadoras, o custo de secagem poderia ser reduzido em 2,1% na unidade armazenadora de Guaíra.

A Cooperativa dos Agricultores de Orlândia cobra pelo serviço de recepção, descarga, limpeza, secagem, pulverização e armazenagem durante a primeira quinzena um valor diferenciado, em função dos teores de água e impurezas do produto, que varia de R\$ 12,83 a R\$ 21,33 por tonelada de grãos secados. O limite máximo para recepção de grãos é de 22% de teor de água e 5% de grãos ardidos.

#### **Avaliação da qualidade do produto**

Conforme os padrões de classificação estabelecidos para a comercialização do milho, após a secagem, o produto foi submetido ao teste qualidade de índice de trincas, sendo classificável para fins comerciais.

## 2.6 CONCLUSÃO

As principais conclusões deste trabalho são apresentados a seguir.

### **Análise das linhas de fluxo das unidades armazenadoras**

- De um modo geral, os equipamentos não estão adequados quanto à capacidade de transporte de produtos agrícolas e linhas de fluxo, na unidade armazenadora de Ituverava, mas estão adequados na unidade de Guairá.
- A operação dos equipamentos não é satisfatória em ambas as unidades armazenadoras, diminuindo, assim, a capacidade de transporte.

### **Linhas de fluxo na recepção de produtos na moega**

- A separação de linhas de fluxo de produtos agrícolas na recepção da massa de grãos favorece o processo de secagem e armazenagem.

### **Transporte**

- Na unidade armazenadora de Ituverava, o custo total com os transportadores da linha de processamento é de R\$ 38,49, para secagem de um lote de 60 t de milho (R\$ 0,64 t<sup>-1</sup> de milho).
- Na unidade armazenadora de Guairá, o custo total com os transportadores da linha de processamento é de R\$ 51,39 para secagem de um lote de 60 t de milho (R\$ 0,86 t<sup>-1</sup> de milho).

### **Redimensionamento de transportadores e avaliação da capacidade de transporte atual máxima dos transportadores**

- Na unidade armazenadora de Ituverava, o dimensionamento dos motores das fitas transportadoras está coerente com os dados disponíveis na literatura técnica de dimensionamento de transportadores, enquanto para os motores dos elevadores de caçambas houve superdimensionamento.
- Na unidade armazenadora de Guaíra, observou-se um superdimensionamento inaceitável em todos transportadores estudados, o que onera os custos de produção.

### **Verificação da capacidade efetiva de transportadores**

- A capacidade de transporte efetiva dos equipamentos deve ser a mais próxima possível da capacidade nominal de transporte do equipamento, para que haja racionalização do uso de energia elétrica e mecânica.

### **Máquinas de limpeza e pré-limpeza**

- Nas unidades armazenadoras o gasto com energia elétrica para secagem de um lote de milho variou de R\$ 5,41 (R\$ 0,09 t<sup>-1</sup>) a R\$ 2,86 (R\$ 0,05 t<sup>-1</sup>), para as máquinas de limpeza e pré-limpeza.
- Os encarregados pela operação dos silos, em ambas as unidades armazenadoras, possuem o conhecimento parcial quanto às regulagens das máquinas de pré-limpeza e limpeza. A regulagem fina das máquinas de pré-limpeza e limpeza no período de safra não é realizada, o que pode causar aumento nos custos da operação de secagem.

### **Secadores**

- O gasto com energia elétrica do motor do ventilador do secador, em ambas as unidades armazenadoras, para a secagem de um lote de milho de 60 toneladas, foi de R\$ 31,84 (R\$ 0,53 t<sup>-1</sup>).

### **Comparação da temperatura dos grãos na câmara de secagem medida e os valores recomendados pela literatura técnica**

- Nos casos em que a temperatura dos grãos na câmara de secagem foi mais alta que a temperatura recomendada na literatura técnica, a qualidade do milho para processamento na indústria foi afetada.

## - **Fontes complementares de energia**

### **Análise do combustível lenha**

- Não houve diferença significativa entre os valores de poder calorífico superior (PCS), para os três tipos de lenha estudados.
- A perda de matéria seca da lenha armazenada em pátios de unidades armazenadoras favorece a diminuição da massa específica da madeira, causando redução na quantidade de lenha armazenada.

### **Verificação da existência de combustão completa no processo de secagem**

- Em ambas as unidades armazenadoras existe a possibilidade de não ter havido combustão completa da lenha devido à velocidade nas entradas de ar primário estar muito acima da velocidade recomendada pela literatura técnica, em torno de  $5 \text{ m s}^{-1}$ . No entanto, durante os testes foi verificado que a temperatura da combustão foi superior as mínimas exigidas para combustão completa. Este dois fatos indicam a necessidade de estudos mais aprofundados no sentido de avaliar a qualidade da combustão e controle da mesma.

### **Avaliação da determinação da vazão dos ventiladores utilizados**

- Em ambas as unidades armazenadoras a vazão de ar do ventilador está bem dimensionada, para um sistema de secagem com capacidade de secagem de  $60 \text{ t h}^{-1}$ , considerando-se um excesso de ar de 30%, desta forma, a operação de secagem não é comprometida pela falta de ar.

### **Avaliação de fornalhas de fogo direto para combustíveis sólidos**

- De acordo com a literatura disponível, para uma capacidade de secagem de  $60 \text{ t h}^{-1}$ , a área de grelha da fornalha da unidade armazenadora de Ituverava não está bem dimensionada. A área de grelha desta unidade não satisfaz as condições necessárias à queima de combustível para fornecimento de energia necessária à secagem do produto agrícola, em tempo predeterminado.
- Em ambas as unidades armazenadoras a área de grelha da fornalha está bem dimensionada e, portanto, possui as condições necessárias à queima de combustível para o fornecimento de energia necessária à secagem do produto agrícola, em tempo predeterminado.

### **Análise do sistema de secagem**

- O reaproveitamento do ar de exaustão do secador e a adoção de um roteiro de procedimentos na operação de secagem, no sistema de secagem de ambas as unidades armazenadoras, poderia contribuir para melhoria da eficiência do sistema de secagem, diminuindo o consumo específico do secador, diminuindo o

tempo de secagem e a quantidade de lenha gasta em um lote de 60 toneladas de produto secado.

- Considerando as duas unidades armazenadoras estudadas, o custo de secagem variou de R\$ 9,61 a R\$ 9,91, por tonelada de grãos secados. Considerando o reaproveitamento do ar de exaustão no processo de secagem, este custo variou de R\$ 12,56 a R\$ 12,87.

## 2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. B.; SASSERON, J. L.; OLIVEIRA FILHO, D. **Princípios sobre combustíveis e fornalhas – Notas de aula**. Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem – CENTREINAR / UFV. Viçosa, MG. 1984. 40p.

ANDRADE, E. T. de; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M. de; PEIXOTO, A. B. **Determinação de propriedades térmicas de grãos de milho**. Ciênc agrotec. Lavras, v. 28, n. 3, p. 488-498, maio/jun., 2004.

BAKKER-ARKEMA, F. W.; BROOK, R. C. and HALL, C. W. **Drying Cereal Grains**. Westport, AVI, 1978, 265p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análises de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365p.

CALIBRAS S. A. Campinas. SP. (<http://www.calibras.com.br>), Data da consulta: 07/2005.

GATTO, D. A.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; e DURLO, M. A. **Características da lenha produzida na região da Quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul**. Ciência Florestal, Santa Maria, RS. 2003. v. 13, n2, p. 7 – 16. ISSN 0103-9954.

GUNASEKARAN, S. Optimal energy management in grain drying. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Newark, v. 25, n. 1, p. 1-48, 2002.

HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L.; YOUNG, J. H. **Principles of process engineering** American Society of Agricultural Engineers – ASAE. USA. 353 p. 1997.

HUKILL, W. V. **Grain Drying** In: Storage of Cereal Grains and Their Products. American association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota. 481-508, 1974.

KEPLER, E. A. **Transportadores e máquina de limpeza**. Panambi, RS: Kepler-Weber S.A., 1975. 16p.

LACERDA FILHO, A, F de, **Avaliação de uma unidade de beneficiamento de sementes de milho (Zea mays)**. Botucatu, SP: UNESP, 1998, 198p, il.: Tese de Doutorado – Universidade Estadual de São Paulo, 1998.

LACERDA FILHO, A. F. de; AFONSO, A. D. L.; SILVA, J. de S. **Manuseio de grãos e farelos**. Caderno didático Engenharia na Agricultura, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1994, n.15.

LOPES, R. P. **Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto de ar**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2002. 220p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

LOPES, R. P.; AFONSO, A. D. L.; SILVA, J. de S. Energia no pré-processamento de produtos agrícolas. In: SILVA, J. de S. e (Ed.), **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000b. p 191 - 217.

LOPES, R. P.; OLIVEIRA FILHO, D; DONZELES, S. M. L.; FERREIRA, W. P. M. **Controle da combustão em fornalhas a lenha**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL – AGRENER, 3, 2000a, Campinas. **Anais...** Campinas, SP. (CD ROM).

MARTINS, J. H. **Simulação de milho em camada estacionária**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1.982. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1982.

QUEIROZ, D. M. de; SOUZA, C. M. A.. **Programa Computacional “Scascata”**. Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR). Viçosa, MG. 2006. <http://www.centreinar.org.br>.

QUEIROZ, D. M. de; VALENTE, D. S. M. **Programa Computacional “Custo de secagem de grãos em secador tipo cascata”**. Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR). Viçosa, MG. 2004. <http://www.centreinar.org.br>.

SILVA, J. de S., (Ed.) **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**, Viçosa: Aprenda Fácil, 2000, 500 p.

SILVA, J. de S; BERBERT, P. A.; AFONSO, A. D. L.; RUFATO, S. Qualidade dos grãos. In: SILVA, J. de S. e (Ed.). **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000a. p 63 - 106.

SILVA, L. C. **Fornalhas em secadores cascata**. Boletim técnico: AG:05/05 – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. 7 p.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M. & FOSTER, G. H. **Mathematical simulation of corn drying – A new model**. Transactions of the ASAE, 11(4): 582-586, 1968.

VALE, A. T. do; BRASIL, M. A. M.; e LEÃO, A. L. Disponibilidade de energia na forma de calor da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000, Campinas. **Proceedings online...** Available from: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022000000100005&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100005&lng=en&nrm=abn)>. Access on: 03 Aug. 2005.

WEBER, E. A. **Armazenagem agrícola**. Porto Alegre: Kepler Weber Industrial, 1995. 400p.

YOUNG, J. H., DICKENS, J. W. **Evaluation of costs for drying grains in batch or cross-flow systems**. Transactions of the ASAE.. v. 8, n. 4, p. 734-38. 1975.

### **Capítulo 3. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES ARMAZENADORAS**

#### **RESUMO**

As unidades armazenadoras são grandes complexos, que consomem grande quantidade de energia elétrica, principalmente, para utilização de motores elétricos e sistema de iluminação. A adoção de equipamentos novos mais eficientes para tracionar os transportadores, ventiladores, bombas e máquinas de limpeza e pré-limpeza, bem como substituir lâmpadas incandescentes ou fluorescentes comuns ou vapor de mercúrio e seus acessórios, pode levar à racionalização do uso da energia e conseqüentemente, redução dos gastos com energia elétrica. A análise das demandas de energia elétrica de contrato, a correção do fator de potência e a análise da qualidade do fornecimento de energia elétrica podem proporcionar, também, economia de energia elétrica. O experimento foi realizado em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia (CAROL), Guaíra e Ituverava – SP com capacidade de secagem de 140 e 120 t h<sup>-1</sup>, respectivamente. O estudo abrangeu: (1) uso de equipamentos eficientes – adequação de força motriz; (2) análise quanto a sua categoria e tipo de isolamento de motores elétricos; (3) adequação tarifária; (4) adequação da iluminação; e (5) qualidade de energia consumida. Para o uso de equipamentos eficientes – adequação de força motriz em ambas as unidades armazenadoras comprovou-se que o investimento em novas tecnologias são viáveis, economicamente, no horizonte de planejamento de 10 anos. Para a análise da categoria e isolamento dos

motores elétricos, observou-se que, em ambas as unidades armazenadoras, os motores funcionavam com a especificação de conjugado não recomendada para as funções especificadas e com a classe de isolamento recomendada para as atividades desenvolvidas dentro de certos parâmetros. Para a adequação tarifária, observou-se que a demanda de contrato, a ser implementada, poderia ser inferior à atual praticada em ambas as unidades armazenadoras, indicando um grande potencial de economia com a escolha da demanda de contrato. Para adequação da iluminação, observou-se um potencial de economia geral médio de 50% com a adoção de equipamentos eficientes. Para a qualidade de energia, observou-se que o desequilíbrio e amplitude de tensão não influenciaram, significativamente, o desempenho dos motores elétricos. No dimensionamento de condutores alimentadores para motores elétricos sugere-se, que além do atendimento a norma técnica, também seja estudado no dimensionamento as relações entre: (i) aumento da bitola do condutor; (ii) número de horas de funcionamento; (iii) variação de preço de condutores; (iv) variação do gasto de energia elétrica; (v) ganho de rendimento pelo aumento da bitola do condutor; e (vi) comprimento do condutor. De acordo com o exposto, a racionalização de energia elétrica em unidades armazenadoras é útil para a redução de custos com energia elétrica e otimização do uso de energia.

**PALAVRAS-CHAVE:** motor elétrico, economia de energia elétrica, tarifa de energia elétrica, iluminação, qualidade da energia.

### 3.1. INTRODUÇÃO

De acordo com Brasil (2005), o país dispõe de 7015 unidades armazenadoras convencionais, com capacidade estática de 25,2 milhões de toneladas, bem como 7044 unidades armazenadoras a granel, com capacidade estática de 74,2 milhões de toneladas e, portanto, uma capacidade total de armazenamento de 99,4 milhões de toneladas. Dentre as várias cargas existentes nas unidades armazenadoras, as mais significativas, em termos de consumo de energia elétrica, são aquelas que demandam tração, seguindo-se as cargas que demandam calor ou frio e depois iluminação.

O consumo de energia elétrica brasileiro, relativo aos setores econômicos mais significativos, pode ser observado na Figura 3.1 (BRASIL, 2004).

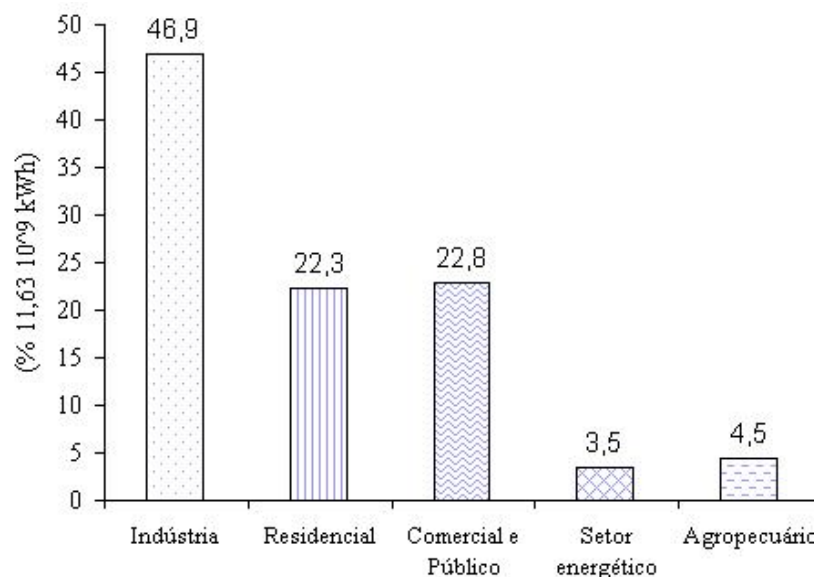


Figura 3.1. Consumo de energia elétrica por setores no Brasil.

Como se pode observar, o setor industrial é o que mais consome energia, representando cerca 50% do consumo de energia elétrica do país. A utilização de energia elétrica neste setor é apresentada na Figura 3.2 (ELETROBRÁS, 2002). Desta forma, no setor industrial, os motores para geração de força motriz consomem cerca de 25% de toda energia elétrica produzida no Brasil.

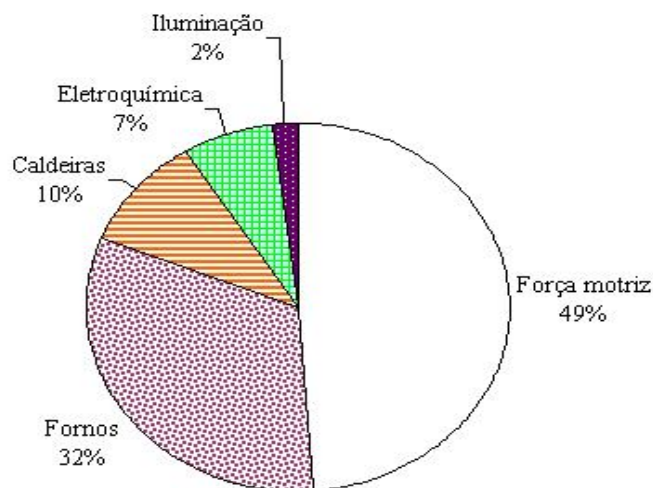


Figura 3.2. Consumidores mais importantes do setor industrial.

Ainda na Figura 3.2, observa-se que as cargas comumente encontradas são as de força motriz (49%), fornos elétricos (32%), caldeiras (10%), eletroquímicos (7%), e iluminação (2%). Nas unidades armazenadoras encontram-se cargas de força motriz, caldeiras e iluminação com grande potencial de racionalização do uso de energia. Além disso, a correção do fator de potência, a adequação de aparelhos de ar condicionado, refrigeradores e compressores e tarifas podem contribuir, efetivamente, para racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras.

De acordo com Silva et al. (2000), a etapa de secagem de milho na operação de armazenamento, por exemplo, é responsável aproximadamente por 50% do consumo total de energia.

Segundo Lopes et al. (2000) e Silva et al. (2000), existe um grande potencial de economia de energia em unidades armazenadoras. Em todas as etapas do processo de armazenamento, existem procedimentos que tornam o processo mais eficiente do ponto de vista técnico e econômico.

## 3.2. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.2.1. Motor elétrico

O motor elétrico é uma máquina, que transforma a energia elétrica que lhe é entregue em energia mecânica, que fica disponível em seu eixo. Um motor elétrico funciona devido à interação entre dois campos magnéticos: o que atua nos enrolamentos do rotor e do estator. Todo condutor elétrico, que transporta corrente imerso em um campo magnético, fica submetido a uma força de natureza mecânica, que é aproveitada no eixo do motor elétrico que o arrasta lateralmente a este campo, a menos que este condutor se encontre paralelo às linhas de indução deste campo.

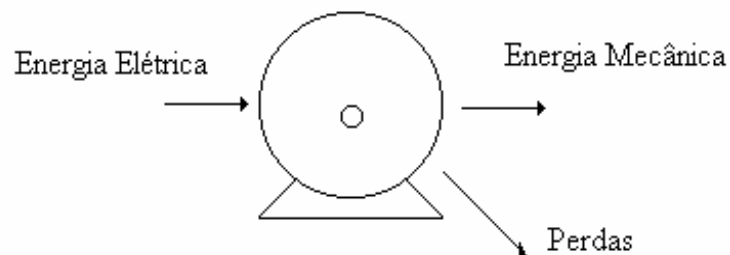


Figura 3.3. Conversão de energia em um motor elétrico.

Para processar esta transformação de energia elétrica em mecânica, ocorrem perdas por efeito Joule, magnéticas e mecânicas no interior do motor, de modo que a potência disponível no eixo é a potência elétrica disponibilizada, subtraindo-se as perdas (Figura 3.3).

A relação entre a potência útil, disponível no eixo do motor, e a potência elétrica ativa é o rendimento ( $\eta$ ) do motor.

Quanto ao tipo de energia utilizada, um motor elétrico pode ser considerado como sendo de corrente contínua ou de corrente alternada. Existe, ainda, o motor dito universal ou de coletor, que funciona tanto em corrente contínua quanto em corrente alternada, sendo utilizado em aparelhos eletrodomésticos convencionais, como ventiladores, liquidificadores, máquinas de costura, etc.

Basicamente, um motor elétrico é constituído de dois enrolamentos: um fixo, montado em sua carcaça e outro móvel, montado em seu eixo. Nos motores de corrente contínua, a parte fixa é denominada indutor ou enrolamento de campo, enquanto a móvel é denominada armadura ou induzido. Nos motores de corrente alternada, a parte fixa é, usualmente, denominado estator e a parte móvel rotor.

### **Motor de corrente alternada**

Quanto à alimentação, os motores de corrente alternada podem ser monofásicos ou trifásicos. Quanto ao princípio de funcionamento, dividem-se em síncronos e assíncronos ou de indução. Todos funcionam baseados no princípio do campo magnético girante ou pulsante, conforme forem trifásicos ou monofásicos.

### **Motor assíncrono ou de indução**

Os motores assíncronos, ou de indução, são responsáveis por quase totalidade das aplicações dos motores de corrente alternada. São simples, robustos e de fácil manutenção. São chamados de assíncronos, pois, ao contrário dos motores síncronos, não há sincronismo entre as velocidades do rotor e do campo magnético girante.

Quanto à alimentação, podem ser monofásicos ou trifásicos. Quanto às características construtivas, podem ser com rotor bobinado ou com rotor em curto circuito, também chamado “rotor em gaiola de esquilo”. O motor com rotor em curto circuito é comumente empregado, devido sua robustez e eficiência.

Um motor de indução é composto por dois circuitos elétricos, totalmente independentes, um instalado no estator e outro no rotor, acoplados magneticamente. A energia elétrica é transferida de um circuito para outro, por meio da indução eletromagnética, tal como ocorre nos transformadores.

O enrolamento do estator (Figura 3.4), quando alimentado por corrente alternada monofásica ou trifásica, cria um campo magnético que gira em velocidade síncrona, definida pela frequência da rede.

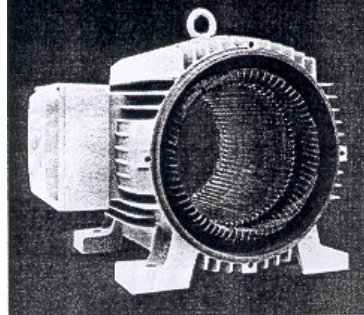


Figura 3.4. Estator de um motor elétrico.

O rotor bobinado ou em anéis de um motor trifásico (Figura 3.5) é composto por um núcleo de ferro laminado, onde se alojam três enrolamentos semelhantes ao do estator, com o mesmo número de pólos. Os enrolamentos são ligados em estrela e as extremidades dos enrolamentos são ligadas a anéis fixos no eixo, que permitem ligar resistências variáveis em série com os três enrolamentos e coloca-los em curto circuito, quando em funcionamento normal. Estas resistências servem para limitar a corrente de partida do motor e controlar sua velocidade.

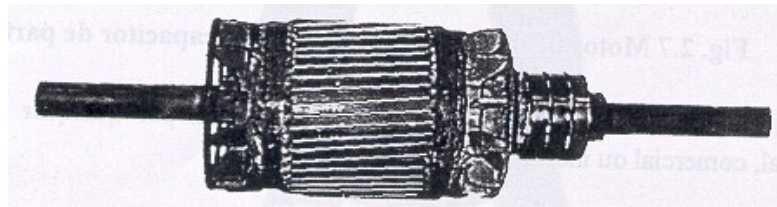


Figura 3.5. Rotor bobinado ou de anéis de um motor elétrico.

Os motores de indução com rotor em gaiola (Figura 3.6) têm um rotor em forma de tambor, dotado de ranhuras, onde se alojam barras de cobre, curto circuitadas nas extremidades por meio de anéis.

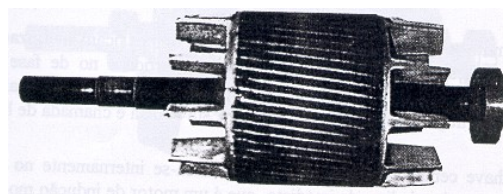


Figura 3.6. Rotor em gaiola de um motor elétrico.

O campo girante produzido pelo estator, submete os condutores do rotor a uma variação de fluxo, sendo induzidas forças eletromotrizes, fem's. Essas fem's fazem circular correntes por estes condutores que, por sua vez, reagem com o campo girante, produzindo um conjugado motor que, de acordo com a lei de Lenz, faz o rotor girar no mesmo sentido do campo girante.

Deve-se ressaltar que a velocidade do rotor nunca atinge a velocidade do campo girante, pois, se esta fosse atingida, os condutores do rotor não sofreriam variação de fluxo magnético e, conseqüentemente, não haveria conjugado motor.

Este tipo de motor é dito motor de velocidade aproximadamente constante, pois, sua velocidade em plena carga é, somente, cerca de 5% menor que sua velocidade a vazio.

Os motores de indução com rotor em gaiola absorvem na partida uma corrente, em média, 5 a 7 vezes maior que a corrente de plena carga e desenvolvem um conjugado de partida cerca de uma vez e meia e duas vezes o conjugado nominal.

### **Motor de indução**

O rotor de um motor de indução monofásico é semelhante ao de um motor trifásico, tanto o de gaiola de esquilo quanto o bobinado, sendo que tanto o rotor quanto o estator possuem um único enrolamento. O enrolamento do estator, quando alimentado por corrente alternada, produz um campo magnético pulsativo. Este campo pulsante é induzido no rotor.

Como um campo pulsativo é incapaz de dar partida ao motor, necessita-se de um enrolamento auxiliar, muitas vezes denominado de enrolamento de partida. O enrolamento de partida é geralmente, ligado em paralelo com o enrolamento principal. Capacitores podem ser utilizados para aumentar a defasagem entre os enrolamentos principal e de partida.

Como o capacitor adianta a corrente de 90 graus, em relação à tensão, têm-se, portanto, dois campos magnéticos pulsativos também defasados de 90 graus. A interação entre os dois campos resulta um campo magnético girante, capaz de proporcionar a partida do motor. À medida que o motor acelera, um interruptor centrífugo, acoplado em seu eixo, desenergiza o enrolamento auxiliar.

Como a maioria dos motores elétricos utilizados na agricultura tem indução monofásica ou trifásica, este trabalho limita-se a este tipo de motor.

Os motores síncronos têm velocidade fixa e são utilizados, somente, para grandes potências. Os motores assíncronos (ou de indução) possuem velocidade praticamente constante, variando, ligeiramente, com a carga mecânica aplicada a seu eixo.

O motor possui os seguintes componentes básicos:

- (1) Circuito magnético - constituído por chapas de material ferromagnético, empilhadas e isoladas entre si;
- (2) Estator - conjunto de circuito magnético, cujo enrolamento principal é alimentado pela rede de corrente alternada; e
- (3) Rotor - constituído de um núcleo ferromagnético, também laminado, sobre o qual encontra-se um enrolamento ou um conjunto de condutores paralelos, nos quais circulam correntes induzidas pelo campo magnético girante, produzido pelas correntes que circulam nas bobinas do estator.

O rotor é montado em um eixo apoiado em rolamentos, que, por sua vez, transmite à carga a energia mecânica produzida. O entreferro (distância entre o rotor e o estator) é bastante reduzido, de forma a reduzir a corrente em vazio e, portanto, as perdas, bem como aumentar o fator de potência em vazio.

### **3.2.2. Caracterização de equipamentos**

De acordo com as normas de NBR 7094 e NBR 5383, são realizados ensaios de rotina, tipo e especial em uma amostragem, na linha de produção de motores elétricos. Os ensaios classificados como Tipo são aqueles realizados em um ou mais motores fabricados, conforme determinado projeto, para comprovar que este projeto satisfaz determinadas especificações. Os classificados como Especiais são aqueles não considerados como ensaios de Rotina ou de Tipo (Quadro 3.1), devendo ser realizados mediante acordo prévio entre fabricante e comprador (WEG, 2002). Tais testes servem para comprovar a eficiência e robustez dos motores elétricos. Normalmente, essas informações acompanham o motor elétrico em sua placa de identificação de parâmetros técnicos.

Quadro 3.1. Ensaios de laboratório realizados em motores elétricos

| Item<br>Nº | Relação de ensaios   | Classificação do ensaio |      |          | Observações   |
|------------|--|-------------------------|------|----------|---|
|            | Ensaio (de / para)   | Rotina                  | Tipo | Especial |   |
| 1          | Medição da resistência de isolamento   | x                       | x    |          |   |
| 2          | Medição da resistência elétrica do enrolamento (do estator e do rotor para motores de anéis, a frio)   | x                       | x    |          |   |
| 3          | Dielétrico   | x                       | x    |          |   |
| 4          | Em vazio (sob tensão nominal) para determinação de:<br>4.1 – Potência de entrada<br>4.2 – Corrente   | x                       | x    |          | Permite a determinação da soma das perdas no núcleo e das perdas por atrito e ventilação                    |
| 5          | Com rotor bloqueado, para determinação de:<br>5.1 – Corrente<br>5.2 – Conjugado<br>5.3 – Potência absorvida  | x                       | x    |          | Não aplicável a motores com rotor bobinado  |
| 6          | Medição de tensão secundária   | x                       | x    |          | Aplicável, somente, a motores com rotor bobinado  |
| 7          | Partida com levantamento das curvas características conjugado versus velocidade e corrente versus velocidade para determinação de:<br>7.1 – Conjugado de partida, incluindo os valores dos conjugados mínimos e máximos<br>7.2 – Corrente de partida |                         |      | x        | Não aplicável a motores com rotor bobinado, exceto para conjugado máximo                                    |
| 8          | Temperatura  |                         | x    |          |   |
| 9          | Determinação do rendimento a 100%, 75% e 50% da potência nominal   |                         | x    |          |   |
| 10         | Determinação das perdas a 100%, 75% e 50% da potência nominal  |                         | x    |          |   |
| 11         | Determinação do escorregamento 100%, 75% e 50% da potência nominal   |                         | x    |          |   |
| 12         | Determinação do fator de potência 100%, 75% e 50% da potência nominal  |                         | x    |          |   |
| 13         | Determinação do conjugado máximo   |                         | x    |          |   |
| 14         | Sobrevelocidade  |                         |      | x        |   |
| 15         | Nível de ruído (potência sonora em vazio)  |                         |      | x        | Ver NBR 7565  |
| 16         | Tensão no eixo e medição da resistência de isolamento do mancal  |                         |      | x        | Geralmente feito em motores com potência nominal $\geq 350$ kW (500 cv)                                     |
| 17         | Vibração (valor eficaz máximo de vibração em $\text{mm.s}^{-1}$ )  |                         |      | x        |   |
| 18         | Medição da tangente do ângulo de perdas  |                         |      | x        | Para motores com tensão nominal $\geq 5$ kV e $\leq 24$ kV e com potência nominal $\geq 5$ MW. Ver NBR 5117 |

O conhecimento dos dados de placa dos motores elétricos possibilita, ao usuário, inferir sobre as condições otimizadas de funcionamento do motor elétrico. A Figura 3.7 mostra uma placa de identificação de motor elétrico de indução.

|   |         |                                |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---|---------|--------------------------------|---------|-------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|--|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|--|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| <b>WEG</b>  |         | <b>ALTO Plus</b><br>RENDIMENTO |         | NBR7094                       |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| ~ 3   |         | 90L                            |         | 03/99 FB90702                 |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| MOTOR INDUÇÃO - GAIOLA<br>INDUCTION MOTOR-SQUIRREL CAGE   |         | Hz 60                          |         | CAT N                         |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| KW(HP-cv)   |         | 2.2(3.0)                       |         | RPM<br>min <sup>-1</sup> 1730 |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| FS  | SF 1,15 | ISOL INSL B                    | Δ† K    | Ip/In 6,7                     | IP55 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 220/380/440   |         | V                              |         | 8.40/4.86/4.20 A              |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| REG DUTY  | S 1     |                                | MAX AMB | ALT                           | m    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 220 V   |         | 380 V                          |         | 440 V                         |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| <table border="0"> <tr><td>11</td><td>12</td><td>10</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>7</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>L1</td><td>L2</td><td>L3</td></tr> </table> |         | 11                             | 12      | 10                            | 5    | 6 | 4 | 8 | 9 | 7 | 2 | 3 | 1 | L1 | L2 | L3 | <table border="0"> <tr><td>11</td><td>12</td><td>10</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>7</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>L1</td><td>L2</td><td>L3</td></tr> </table> |  | 11 | 12 | 10 | 5 | 6 | 4 | 8 | 9 | 7 | 2 | 3 | 1 | L1 | L2 | L3 | <table border="0"> <tr><td>11</td><td>12</td><td>10</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>7</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>L1</td><td>L2</td><td>L3</td></tr> </table> |  | 11 | 12 | 10 | 5 | 6 | 4 | 8 | 9 | 7 | 2 | 3 | 1 | L1 | L2 | L3 |
| 11  | 12      | 10                             |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 5   | 6       | 4                              |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 8   | 9       | 7                              |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2   | 3       | 1                              |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| L1  | L2      | L3                             |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 11  | 12      | 10                             |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 5   | 6       | 4                              |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 8   | 9       | 7                              |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2   | 3       | 1                              |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| L1  | L2      | L3                             |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 11  | 12      | 10                             |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 5   | 6       | 4                              |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 8   | 9       | 7                              |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2   | 3       | 1                              |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| L1  | L2      | L3                             |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Y   |         | Y                              |         | Δ                             |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Y - ONLY START /  |         | SOMENTE PARTIDA                |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 6205-ZZ   |         | A BASE DE LITIO                |         | Kg                            |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 6204-ZZ   |         |                                |         |                               |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 03330   |         | INMETRO                        |         | PNCEE                         |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|   |         |                                |         | REND.% = 85.5%                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|   |         |                                |         | COS φ 0.81                    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|   |         |                                |         | CE                            |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |   |  |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

Fonte: (WEG, 2002)

Figura 3.7. Placa com os dados nominais de um motor elétrico.

Na placa de identificação, é possível verificar se o motor elétrico é do tipo padrão ou alto rendimento, corrente máxima em regime de operação para as respectivas tensões de alimentação da rede, potência, número de fases, classe de isolamento, grau de proteção, tipo de carcaça, fator de serviço, e outros. Muitas informações de desempenho em regime de trabalho do motor elétrico são também disponibilizadas, tais como o rendimento nominal e fator de potência. Baseado na informação sobre o tipo do motor elétrico, é possível verificar se o motor elétrico é mais, ou menos, eficiente. Por exemplo, um motor de alto rendimento é mais eficiente que um motor do tipo padrão, em todas as faixas de potência.

**Tipo de carcaça:** informação referente à carcaça do motor elétrico. No caso apresentado na Figura 3.7, a carcaça é 90 L.

**Mês e ano de fabricação do motor:** informação referente ao tempo de vida útil do motor. Na Figura 3.7, o motor foi fabricado em 03/1999.

**Potência nominal:** é a potência que o motor fornece em seu eixo, quando opera em condições de plena carga. De acordo com a ABNT, deve ser especificada em cavalos vapor (cv). Na Figura 3.7, a potência do motor é de 2,2 kW (3 cv).

**Rendimento:** é a relação, expressa em porcentagem, entre a potência útil fornecida no eixo e a potência elétrica útil absorvida pelo motor. O rendimento está relacionado à perda de energia útil, ocorrida durante a transformação da energia elétrica em energia mecânica. Em geral, o rendimento aumenta com a potência nominal do motor.

O rendimento nominal do motor, esquematizado na Figura 3.7, é de 85,5%.

**Velocidade nominal:** é o número de rotações do eixo do motor, por unidade de tempo. Normalmente, é especificada em rotações por minuto (rpm). A velocidade de rotação do motor depende das características construtivas do motor, número de pólos e frequência da rede de alimentação.

**Tensão nominal:** é a tensão à qual o motor deve ser alimentado. As tensões convencionais são 110, 220, 380, 440 e 660 V.

**Frequência nominal:** é a frequência da rede, que deve alimentar o motor para que ele possa operar em condições nominais. É especificada em Hertz (Hz). Na Figura 3.7, a frequência nominal do motor é 60 Hz.

**Corrente nominal:** é a corrente, que o motor solicita da fonte de alimentação, para fornecer em seu eixo a potência nominal, quando alimentado com tensão e frequência nominais, em regime de trabalho. Na Figura 3.7, as correntes nominais do motor são 8,4/4,86/4,20 A, nas tensões, quando alimentado com 220/380/440 V, respectivamente.

**Fator de potência:** é a relação entre a potência útil do motor (fornecida em seu eixo), medida em Watts, e a potência aparente que ele absorve da fonte. Define a capacidade do motor em utilizar a energia que a fonte lhe fornece. De acordo com a portaria do DNAEE número 85 de março de 1992, o fator de potência das instalações atendidas em média e alta tensão deverão ser iguais ou superiores a 0,92. Desta forma, deve-se escolher motores com fator de potência próximo a 0,92, na condição de carregamento

nominal (CREDER, 1995; CODI, 2000). No caso da Figura 3.7, o fator de potência nominal do motor é de 0,81.

**Classe de isolamento do motor:** a classe de isolamento do motor elétrico indica a temperatura máxima do ponto mais quente, que o motor elétrico poderá suportar em regime de trabalho, seja pelo aquecimento devido à ventilação insuficiente, partidas sucessivas, sobretensões e outros (Quadro 3.2).

Quadro 3.2. Caracterização quanto à temperatura das diferentes classes de isolamento de motores elétricos

| Classe de isolamento   |    | A   | E   | B   | F   | H   |
|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temperatura ambiente   | °C | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |
| $\Delta t$ = elevação de temperatura (método da resistência) | °C | 60  | 75  | 80  | 105 | 125 |
| Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média    | °C | 5   | 5   | 10  | 10  | 15  |
| Total: temperatura do ponto mais quente                      | °C | 105 | 120 | 130 | 155 | 180 |

Fonte: Eletrobrás (2004)

De acordo com Eletrobrás (2004), a operação do motor elétrico com 8 a 10 °C acima da temperatura-limite, permitida pela classe de isolamento, pode reduzir a vida útil pela metade. Na Figura 3.7, a classe de isolamento do motor elétrico é B.

**Letra código dos motores:** é a relação entre a potência aparente solicitada da rede (kVA) e potência nominal (cv), com o rotor bloqueado. Embora o motor nunca opere nesta condição, ela pode ser considerada válida no instante da partida. O Quadro 3.3 apresenta valores de letras códigos de motores elétricos.

Quadro 3.3. Valores de letra-código para motores elétricos

| Letra Código | kVA/cv com rotor bloqueado |
|--------------|----------------------------|
| A            | 0,00 – 3,14                |
| B            | 3,15 – 3,54                |
| C            | 3,55 – 3,99                |
| D            | 4,00 – 4,49                |
| E            | 4,50 – 4,99                |
| F            | 5,00 – 5,59                |
| G            | 5,60 – 6,29                |
| H            | 6,30 – 7,09                |
| J            | 7,10 – 7,99                |
| K            | 8,00 – 8,99                |
| L            | 9,00 – 9,99                |

Fonte: PROCEL (2004)

**Fator de serviço (fs):** o fator de serviço de um motor é o valor que, multiplicado pela potência nominal, indica a sobrecarga que ele suporta, desde que o regime de operação não seja contínuo, isto é, senão ocorra um aquecimento incompatível com a classe de isolamento do motor, embora com queda no rendimento e no fator de potência. O fator de serviço representa uma reserva de potência, que o motor elétrico poderá produzir em situações adversas, em regime de operação. Em geral, este valor é 15%. Por exemplo, quando se compra um motor de 100 cv, com fator de serviço de 1,15, a potência total que o motor poderá desenvolver será 115 cv. Esta informação deverá ser considerada no dimensionamento do sistema de comando e proteção dos motores elétricos.

**Regime de trabalho:** define as maneiras como o motor deve operar. Por exemplo, funcionamento em regime contínuo ou intermitente.

**Categoria do motor:** a categoria do motor elétrico fornece informações, referentes ao conjugado do motor elétrico versus a rotação do motor elétrico acoplado à carga. A categoria N apresenta um conjugado de partida, com baixo escorregamento; esta categoria é a mais encontrada no mercado e presta-se ao acionamento de cargas, como, bombas, máquinas operatrizes e ventiladores. Na categoria H, os motores apresentam alto conjugado de partida, corrente de partida normal e baixo escorregamento; são utilizados para cargas que exigem maior conjugado de partida, como peneiras, transportadores carregadores, cargas de alta inércia e britadores. A categoria D apresenta alto conjugado de partida, corrente de partida normal e alto escorregamento (+ de 5%). São utilizados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos, bem como em elevadores e cargas, que necessitam de conjugado de partida muito alto e corrente de partida limitada. Existem, ainda, as categorias NY e HY, em que os motores são previstos para partida estrela-triângulo, onde na ligação estrela para estes motores, sendo os valores mínimos do conjugado de partida com rotor bloqueado e do conjugado mínimo de partida iguais a 25% dos valores indicados para os motores de categoria N e H, respectivamente. As curvas de conjugado versus velocidade das diferentes categorias são apresentadas na Figura 3.8 (WEG, 2002).

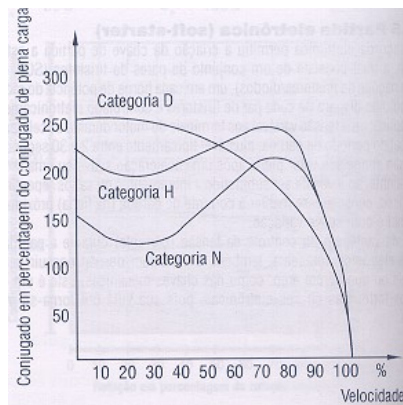


Figura 3.8. Curvas de conjugado versus velocidade.

**Corrente de partida versus corrente nominal:** a relação corrente de partida ( $I_c$ ) versus corrente nominal ( $I_n$ ) mostra quantas vezes a corrente de partida do motor elétrico é maior que a corrente nominal na partida do mesmo. Esta informação deverá ser, também, considerada no dimensionamento do sistema de comando e proteção dos motores elétricos.

**Esquema de ligação das fases:** as informações contidas nos esquemas de ligação das fases propiciam a ligação de um mesmo motor, em diferentes redes de alimentação. Sabe-se que a variação do nível de tensão e o desbalanceamento entre as fases afetam, intensivamente, o rendimento dos motores elétricos.

**Grau de proteção do motor elétrico:** capacidade do invólucro do motor elétrico em interagir com o meio ambiente, em que o motor se encontra. Os graus de proteção de equipamentos elétricos são definidos por meio de letras características IP, seguidas de dois algarismos. O 1º algarismo indica o grau de proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos e contato acidental, variando de índice 0 (sem proteção) até 6 (totalmente protegido contra poeira). O 2º algarismo indica o grau de proteção contra a penetração de água no interior do motor, variando de índice 0 (sem proteção) até 8 (imersão permanente). Os motores cuja classe de proteção está classificada como IP 00, 02, 11, 12, 13, 21, 22 e 23 são denominados “tipo aberto”. Os motores fechados são aqueles compreendidos na categoria IP44, 54, 55 e (W)55. O motor esquematizado na Figura 3.7 é IP 55, portanto, é do tipo fechado, sendo que seu 1º algarismo (5) significa que é protegido, completamente, contra toques e acúmulo de poeiras nocivas e o 2º algarismo (5) significa que ele é protegido contra jatos de água em todas as direções.

### 3.2.3. Curvas características de motores elétricos

As curvas características dos motores elétricos são provenientes de ensaios realizados em bancadas de teste, para as condições de carregamento e vazio. De acordo com os testes, as curvas características dos motores elétricos podem ser plotadas em função de seu índice de carregamento. Em geral, apresentam-se as curvas características de corrente elétrica, fator de potência, escorregamento ou rendimento versus o índice de carregamento (Figuras 3.9 e 3.10) (WEG, 2000).

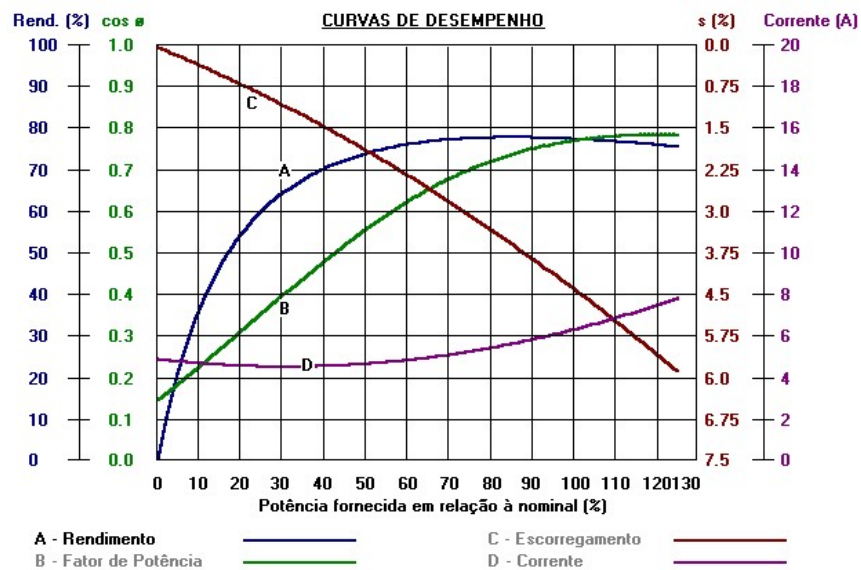


Figura 3.9. Curva característica representativa de motor de potência inferior a 18,4 kW (25cv).

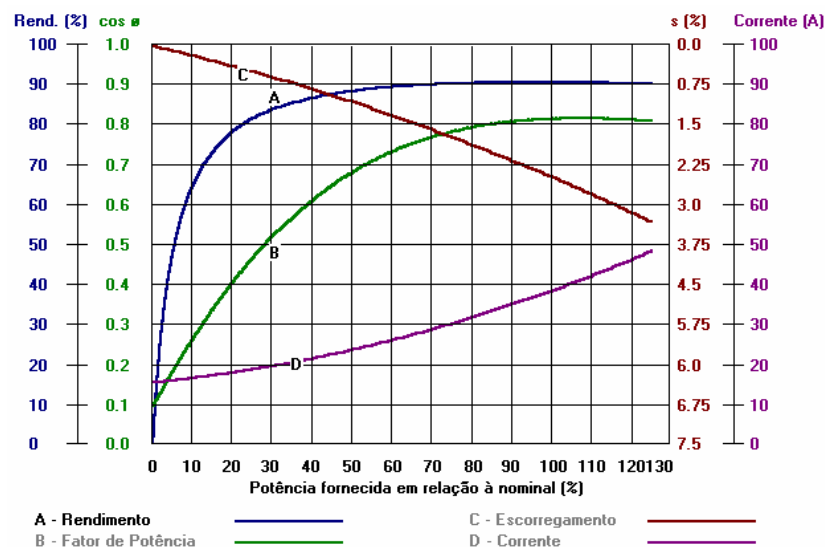


Figura 3.10. Curva característica representativa de motor de potência superior a 18,4 kW (25cv).

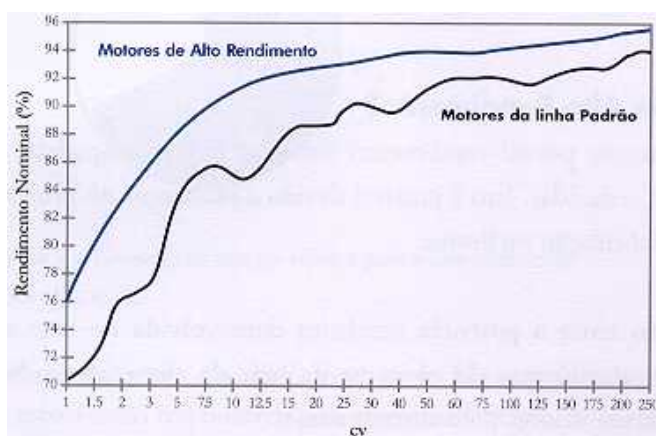
## Índice de carregamento

As informações das curvas características mostram que para motores menores de 18,4 kW (25 cv), na condição de operação com baixo índice de carregamento,  $IC < 50\%$ , tanto o rendimento, fator de potência, como a corrente elétrica possuem valores baixos, indicando que o motor está subutilizado (Figura 3.9). Já para motores maiores que 18,4 kW (25 cv) (Figura 3.10), mesmo os motores operando com baixos índices de carregamento, o rendimento e o fator de potência não são tão afetados, como no caso dos motores de menor potência. Mas de uma forma geral recomenda-se, que os motores elétricos trabalhem com um índice de carregamento maior que 75%, pois é nesta situação que todos os parâmetros de eficiência dos motores elétricos são maximizados.

### 3.2.4. Adequação de força motriz

A substituição de motores tipo padrão por modelos de alto rendimento, e o aumento do número de horas de funcionamento anual, podem apresentar taxas internas de retorno superiores a 60% para situações, em que, o número de horas de funcionamento anual seja superior a 2000 horas. Esses dados indicam o grande potencial de viabilidade técnica e econômica da racionalização do uso de energia elétrica a partir da adequação de força motriz (COSTA et al., 1998; CAMPANA, 2000; TEIXEIRA, 2002; LOPES, 2002; RIBEIRO, 2003).

De acordo com a Figura 3.11, para toda faixa de potência, os motores do tipo alto rendimento possuem um rendimento superior àqueles dos motores tipo padrão. A variação no índice de rendimento para um motor de mesma potência, neste caso, pode ser de 2 a 8%, somente, com a substituição do motor elétrico (ELETROBRÁS, 2002).



Fonte: Eletrobrás (2002)

Figura 3.11. Rendimento nominal para motores de alto rendimento e tipo padrão, 4 pólos, categoria N.

Para adequação de força motriz, é importante que se faça a avaliação do índice de carregamento e do índice de rendimento do motor na condição de carga efetiva. O índice de rendimento efetivo do motor elétrico pode ser avaliado, por meio de medição da corrente elétrica do estator. A determinação do índice de rendimento por meio de medição da corrente elétrica é a mais utilizada, pois, é um método mais simples. De posse da corrente elétrica do motor, trabalhando em plena carga e seus dados de placa, determina-se o índice de carregamento (IC), por meio da curva característica de rendimento (WEG, 2000). Na determinação do índice de rendimento de motores elétricos, deve-se levar em consideração o desbalanceamento de tensões e o nível de tensão, haja vista a grande influência destes parâmetros no índice de rendimento dos motores elétricos (ELETROBRÁS, 1998). Outros fatores devem ser considerados, como: (i) torques requisitados na partida; (ii) número de partidas por hora; (iii) caracterização do ambiente de trabalho; e (iv) tipo de proteção da carcaça do motor.

As principais opções para adequação do uso de força motriz são substituições de motores elétricos do tipo padrão em funcionamento, a saber: (i) motor tipo padrão (PD), em uso, por motor de mesma potência de alto rendimento (AR) novo; (ii) motor tipo padrão (PD), em uso, por motor novo de alto rendimento adequado à condição de carga (AR); (iii) motor tipo padrão (PD), em uso, por motor tipo padrão adequado à condição de carga (PDA); e (iv) motor tipo padrão (PD), em uso, por motor novo de alto rendimento adequado à condição de carga e com o número de horas de funcionamento anual maximizado (ARA/h) (TEIXEIRA, 2002).

Para cada situação, devem ser considerados os seguintes dados de entrada da análise econômica: número de horas de funcionamento anual, vida útil, taxa de juros, taxa de inflação no horizonte de planejamento, preço da tarifa de energia elétrica, consumo e demanda, período do ano para efeito de cálculo de tarifas, dentre outros.

### **Cálculo do gasto com motores elétricos**

O gasto com consumo de energia elétrica dos motores foi estimado, empregando-se a equação

$$C = \frac{0,736 P I_c T_c h}{\eta} \quad (3.1)$$

em que

|                |   |  |
|----------------|---|--|
| C              | = | gasto com consumo de energia elétrica, R\$ ano <sup>-1</sup> ; |
| P              | = | potência nominal do motor elétrico, cv;                        |
| 0,736          | = | fator de conversão de cv para kW;                              |
| I <sub>c</sub> | = | índice de carregamento do motor elétrico, %;                   |
| T <sub>c</sub> | = | tarifa de consumo, R\$ kWh <sup>-1</sup> ;                     |
| h              | = | número de horas de funcionamento anual, h; e                   |
| η              | = | rendimento do motor elétrico, decimal.                         |

O gasto com demanda de energia elétrica dos motores foi estimado, por meio da equação

$$D = \frac{0,736 P I_c T_d 12}{\eta} \quad (3.2)$$

em que

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| D              | = | gasto com demanda de energia elétrica, R\$/ano; |
| T <sub>d</sub> | = | tarifa de demanda, R\$/ kW; e                   |
| 12             | = | número de meses do ano.                         |

Além da análise de carregamento, é necessária a análise de conjugado de partida e aquecimento.

### 3.2.5. Sistema tarifário

Devido à entrada conjunta da iluminação pública e dos chuveiros do sistema residencial, a curva de carga típica do sistema elétrico brasileiro apresenta a maior demanda de energia elétrica, no horário compreendido entre 17 e 22 h. Com o objetivo de adequar a oferta de energia à solicitação de carga do sistema elétrico, foi concebida a estrutura tarifária horo-sazonal (tarifas azul e verde), de modo a compreender a sistemática de aplicação de tarifas a preços diferenciados, de acordo com o horário do dia (ponta e fora de ponta) e períodos do ano (úmido e seco). Com esta estrutura tarifária, o objetivo consiste em prorrogar a necessidade de melhoria na infra-estrutura do sistema elétrico nacional, que é formado por 96% por recursos hídricos, aproximadamente (CEMIG, 1998; CODI, 2000).

O sistema tarifário em vigor no Brasil, aplicável a consumidores do grupo A, pode ser classificado em convencional e horo-sazonal. Os consumidores de energia elétrica, que se enquadram no sistema convencional de tarifas, podem ser taxados pelo consumo e demanda de energia elétrica.

A tarifa no horário de ponta é cerca de 200% mais cara que a tarifa no horário fora de ponta, para demanda e cerca de 130% mais cara para o consumo na tarifa azul.

A tarifa verde, no horário de ponta, sofre o referido acréscimo apenas para o consumo de energia elétrica e não para demanda. Neste sistema tarifário, cobra-se demanda de ultrapassagem, quando a demanda de energia utilizada excede à demanda contratada. As concessionárias de energia elétrica taxam a tarifa de ultrapassagem em 300% do valor da tarifa do respectivo horário.

### 3.2.6. Sistema de iluminação

De acordo com Eletrobrás (2004), a iluminação é responsável por cerca de 23% do consumo no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Muitos estudos mostram que os projetos de iluminação não contemplavam soluções eficientemente corretas. A combinação do uso inteligente de iluminação natural, de projetos arquitetônicos eficientes, e de lâmpadas, reatores e refletores eficientes nas luminárias, associados a hábitos saudáveis em sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica. A substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes e, ou fluorescentes compactas, reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos, lâmpadas de vapor mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e luminárias espelhadas podem proporcionar uma grande economia na vida útil dos equipamentos, pois, a vida útil das lâmpadas e reator e a eficiência luminosa da luminária e do reator são superiores àquelas dos equipamentos tradicionais, bem como a adoção de equipamentos que auxiliam na automação, como os sensores de presença e células fotoelétricas estão entre as principais medidas para maximizar a economia com iluminação. Não se deve esquecer a importância da manutenção de sistemas de iluminação, como luminárias e pintura de tetos e paredes, como um dos fatores determinantes na racionalização do uso de energia elétrica na iluminação.

O consumo das lâmpadas pode ser calculado, de acordo com a equação

$$C_L = \frac{P h T_c}{1000} \quad (3.3)$$

em que

- $C_L$  = gasto com consumo de energia elétrica, R\$ ano<sup>-1</sup>;
- $P$  = potência nominal da lâmpada, W;
- $T_c$  = tarifa de consumo, R\$ kWh<sup>-1</sup>; e
- $h$  = número de horas de funcionamento anual, h.

O consumo do reator eletromagnético e eletrônico para lâmpadas fluorescentes, pode ser calculado de acordo com a equação

$$C_r = \frac{X_i P h T_c}{1000} \quad (3.4)$$

em que

- $C_r$  = gasto com consumo de energia elétrica do reator eletromagnético, R\$ ano<sup>-1</sup>;
- $X_i$  = constante de eficiência para o reator, eletromagnético ou eletrônico;
- $P$  = potência nominal da lâmpada, W;
- $h$  = número de horas de funcionamento anual, h; e
- $T_c$  = tarifa de consumo, R\$ kWh<sup>-1</sup>.

Segundo Eletrobrás (2004), o consumo de energia elétrica dos reatores eletromagnético e eletrônico é de cerca 20% e 5% das lâmpadas que eles energizam, respectivamente.

### 3.2.7. Qualidade do fornecimento de energia elétrica

A qualidade da energia ofertada pela concessionária de energia elétrica pode ser monitorada pelo consumidor de uso final, por meio de: desequilíbrio da rede trifásica, com tensões apresentando diferentes amplitudes e, ou defasagens; alterações ou flutuações da amplitude da tensão; e existência de forte conteúdo de harmônicos, alterando o comportamento senoidal da tensão (ELETROBRÁS, 2004). Estes três parâmetros constituem as principais distorções, que podem ocorrer nas redes trifásicas, pois, sua presença altera o desempenho de todos os equipamentos elétricos, os quais são especificados para determinados níveis de tensão, defasagem entre as fases e índice de distorção harmônica.

A rigor, o cálculo do desequilíbrio de uma rede é obtido com o uso da ferramenta de cálculo denominada “Componentes Simétricas”. Estas componentes de um sistema trifásico desequilibrado são denominadas como componentes de seqüência positiva, negativa e zero, considerando-se a possibilidade de diferentes amplitudes de tensões e, ou defasagens diferentes de 120°. De acordo com o Eletrobrás (2004) segundo a NBR 7094/1996, um sistema trifásico é considerado praticamente equilibrado, se a componente de seqüência zero não exceder 1% da componente de seqüência positiva, bem como se a componente de seqüência negativa não exceder 1% da componente de seqüência positiva, durante período prolongado, ou 1,5% durante um período curto não superior a alguns minutos.

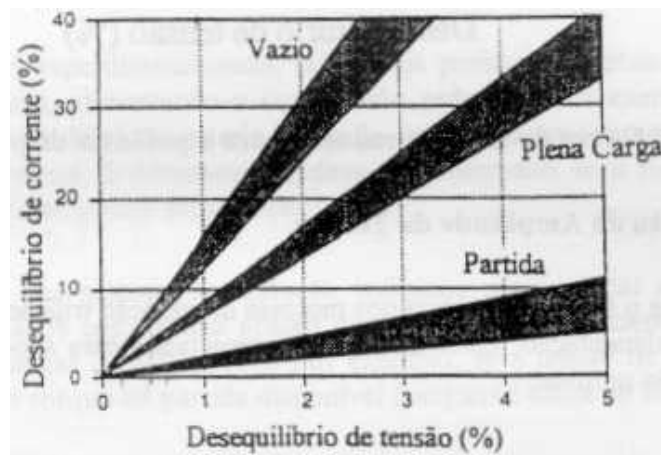
O cálculo do desequilíbrio baseado, apenas, na consideração de amplitudes diferentes pode acobertar erros. Entretanto, como a medição da defasagem exige instrumentação apropriada, a nível industrial, a NBR 7097/1996 admite, para fins práticos, que o desequilíbrio da rede seja definido por

$$D_{\text{tensão}} = \frac{V_{\text{máx}} - V_{\text{média}}}{V_{\text{média}}} \quad (3.5)$$

em que

$$\begin{aligned} D_{\text{tensão}} &= \text{desequilíbrio de tensão; \%} \\ V_{\text{máx}} &= \text{valor da máxima tensão, V; e} \\ V_{\text{média}} &= \text{valor médio das tensões, V.} \end{aligned}$$

O efeito do desequilíbrio da tensão nas correntes dos motores elétricos trifásicos pode ser observado na Figura 3.12.

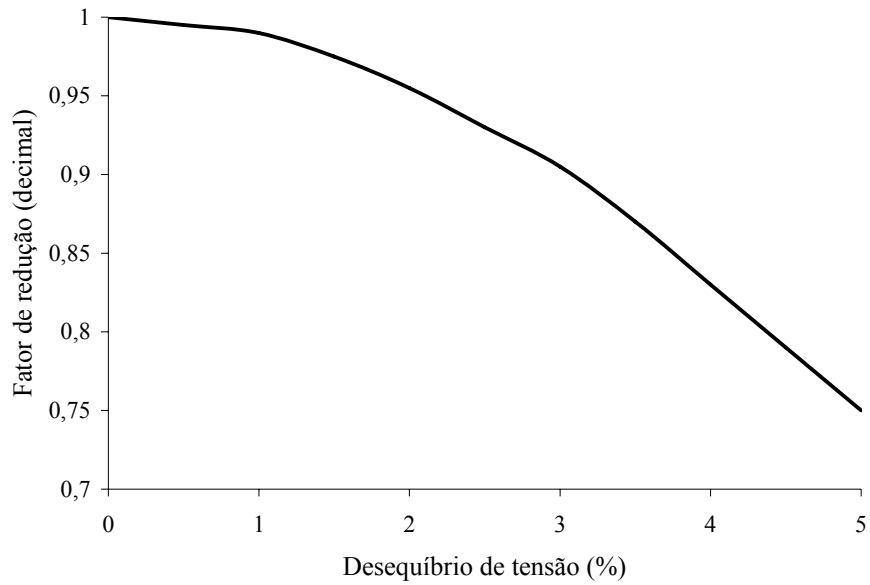


Fonte: Eletrobrás (2002)

Figura 3.12. Efeito do desequilíbrio da tensão nas correntes de um motor de indução trifásico.

Estudos demonstraram que um pequeno desequilíbrio de 3,5 % na tensão pode aumentar as perdas do motor de indução trifásico em 20%. Um desequilíbrio de 5% ou mais pode destruí-lo, rapidamente. Segundo a norma NBR 7097/1996, devem ser aplicados fatores de redução para a potência disponível no eixo de motores categoria N, quando os mesmos são alimentados por tensões desequilibradas, de modo que a elevação de temperatura admissível não seja excedida. Para as outras categorias, é recomendável consultar o fabricante (ELETROBRÁS, 2004).

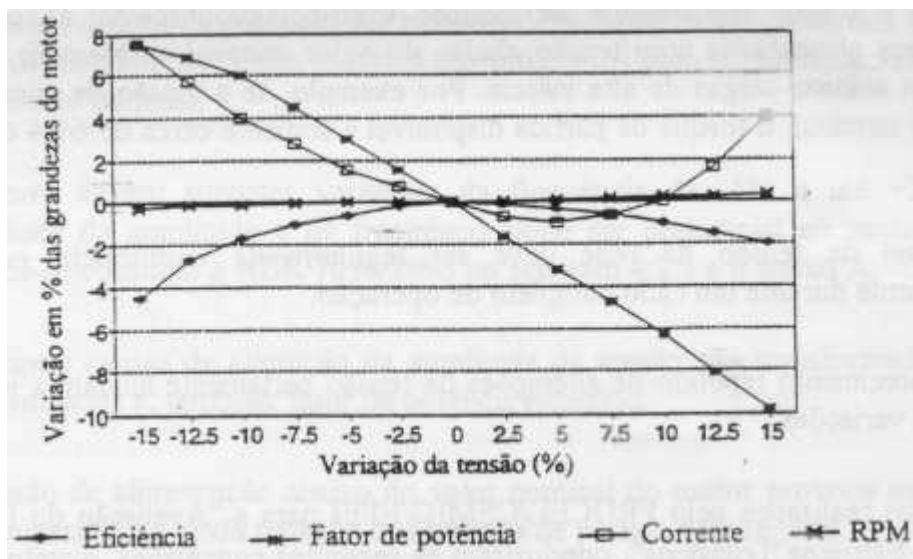
A Figura 3.13 apresenta os fatores de redução a serem adotados, conforme o valor percentual do desequilíbrio das tensões da rede.



Fonte: Eletrobrás (2002)

Figura 3.13. Curva do fator de redução para a potência disponível no eixo.

Segundo Eletrobrás (2004) a, alteração na amplitude de tensão pode influenciar a eficiência e o fator de potência de motores elétricos, pois, este equipamento é influenciado, diretamente, pelo valor da tensão de alimentação. Normalmente, estes motores são projetados para suportar variações máximas numa faixa de 10 % acima e abaixo da tensão nominal (Figura 3.14).



Fonte: Eletrobrás (2002)

Figura 3.14. Influência da variação da tensão no desempenho de um motor de indução trifásico.

### **Análise do dimensionamento de condutores para motores elétricos considerando a relação entre o aumento da seção do condutor e a queda de tensão admissível**

Segundo Creder (1995), a norma técnica permite que haja uma queda de tensão máxima, de 7% nos condutores alimentadores, desde o quadro geral de distribuição até o motor elétrico. De acordo com a Eletrobrás (2002), há a influência da variação da tensão no desempenho de um motor de indução trifásico, principalmente no rendimento do motor elétrico. Para uma queda de 7% na tensão, há uma redução de cerca de 1% no rendimento de um motor elétrico trifásico (Figura 3.14). Uma possibilidade para minimizar a perda de rendimento dos motores elétricos é o estudo da relação entre: (i) aumento da bitola do condutor, uma bitola acima, a indicada pelo dimensionamento tradicional; (ii) custo entre os condutores de bitolas diferentes; (iii) comprimento do condutor; (iv) horas de funcionamento diário do motor elétrico; (v) preço da energia elétrica; (vi) ganho de rendimento devido, a diminuição da queda de tensão pelo aumento da bitola do condutor; (vii) vida útil dos condutores; e (viii) taxa de juros adotada na análise de vida útil.

#### **3.2.8. Análise econômica**

##### **Valor presente líquido – VPL**

Segundo Lapponi (1996), o Valor Presente Líquido compara todas as entradas e saídas de dinheiro na data inicial do projeto, descontando todos os valores futuros do fluxo de caixa na taxa de juros  $k$ , que mede o custo de capital. A expressão geral do VPL do projeto de investimento é dada pela equação

$$\text{VPL} = I + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+k)^t} + \frac{Q}{(1+k)^n} \quad (3.6)$$

em que

- VPL = valor presente líquido, R\$;
- I = investimento de capital na época zero, R\$;
- $R_t$  = retornos depois de descontados os impostos, R\$;
- n = prazo da análise do projeto ou vida útil, ano;
- k = taxa de juros, decimal;
- Q = valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$; e
- t = subperíodos de análise, ano.

Portanto, o critério do método do VPL estabelece que, enquanto o valor presente das entradas for maior que o valor presente das saídas, que foi calculado com a taxa de juros  $k$ , que mede o custo de capital, o projeto deve ser aceito. Resumindo, sempre que: (i)  $VPL > 0$ , o projeto deve ser aceito; (ii)  $VPL = 0$ , é indiferente aceitar ou não; e (iii)  $VPL < 0$ , o projeto não deve ser aceito.

### **Taxa interna de retorno –TIR**

Segundo Laponi (1996), esta é a taxa de juros que anula o VPL, isto é, que torna  $VPL = 0$ . Como a soma de todos os capitais na data inicial do projeto de investimento deve ser igual a zero, impõe-se esta condição na fórmula do VPL do projeto. A Equação 3.7 apresenta a fórmula para cálculo da TIR.

$$VPL = 0 = I + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1 + TIR)^t} + \frac{Q}{(1 + TIR)^n} \quad (3.7)$$

em que

- TIR = taxa interna de retorno, decimal;
- VPL = valor presente líquido, R\$;
- I = investimento de capital na época zero, R\$;
- $R_t$  = retornos após descontados os impostos, ou imposto de renda, R\$;
- $n$  = prazo da análise do projeto ou vida útil, ano; e
- Q = valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$.

O critério do método da taxa interna de retorno estabelece que, enquanto o valor da TIR for maior que o valor do custo de capital  $k$ , o projeto deve ser aceito, isto é, sempre que (i)  $TIR > k$ , o projeto deve ser aceito; (ii)  $TIR = k$ , é indiferente aceitar ou não; e (iii)  $TIR < k$ , o projeto não deve ser aceito.

### **Razão benefício custo – RBC**

Segundo Frizzone e Silveira (2000), a razão benefício/custo é o quociente entre a soma dos benefícios e dos custos, descontada taxa de juros adotada para cada período considerado. O importante é verificar se os benéficos são maiores que os custos.

Há várias formas para representar a razão benefício/custo (B/C), dependendo apenas de como se mede cada uma dessas variáveis. Um conceito freqüentemente utilizado é a razão entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, que é representado pela equação

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^n B_t (1+j)^t}{\sum_{t=0}^n C_t (1+j)^t} \quad (3.8)$$

em que

- B = benefício, R\$;
- C = custos, R\$;
- n = vida útil, ano;
- j = taxa de juros, decimal; e
- t = subperíodos de capitalização, ano.

Na Equação 3.8, o numerador mede o valor presente dos benefícios advindos no decorrer da vida do projeto, enquanto o denominador mede o valor presente dos custos relativos à implantação e operação do projeto. Outra forma para calcular a razão B/C é diretamente a partir dos cálculos do VPL, dividindo-se o somatório dos valores descontados dos benefícios líquidos pelo investimento inicial.

#### **Taxa de retorno do capital –TRC**

É o período de tempo necessário para que o investimento inicial aplicado seja recuperado. O tempo de retorno do capital pode ser calculado, considerando-se a renda anual não descontada, ou seja

$$TRC = \frac{C_i}{R_a} \quad (3.9)$$

em que

- C<sub>i</sub> = capital inicial, R\$; e
- R<sub>a</sub> = renda anual não descontada, R\$.

O critério do método do tempo de retorno de capital estabelece que: (i) TRC > vida útil do projeto, o projeto não deve ser aceito; (ii) TRC = vida útil do projeto, é indiferente aceitar ou não, e (iii) TRC < vida útil do projeto, o projeto deve ser aceito.

### **3.3. OBJETIVO**

Neste trabalho, avaliou-se a racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras, com vistas aos seguintes objetivos:

- Propor uma metodologia para racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras de produtos agrícolas; e
  
- Apresentar, como estudo de caso, uma análise de duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orândia (CAROL), São Paulo.

### **3.4. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.4.1. Metodologia para racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras de produtos agrícolas**

O experimento foi realizado em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia, Estado de São Paulo, bem como nos laboratórios de Energia pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. A unidade armazenadora de Ituverava tem capacidade estática de armazenagem de 35.000 toneladas de grãos, armazenando soja e milho, na safra agrícola e milho e sorgo na safrinha agrícola. Já a unidade de Guaíra possui capacidade estática de armazenagem de 70.000 toneladas de grãos, armazenando soja e milho, na safra agrícola e milho e sorgo na safrinha agrícola. Estas unidades armazenadoras possuem uma capacidade estática de secagem de  $120 \text{ t h}^{-1}$  e  $140 \text{ t h}^{-1}$ , respectivamente.

#### **Uso de equipamentos eficientes - adequação de força motriz**

##### **Avaliação de carga e rendimento dos motores elétricos**

Na adequação de força motriz, avaliaram-se o índice de carregamento e o rendimento dos motores, utilizando a metodologia proposta por Teixeira (2002). Para tanto, foram medidas as respectivas correntes elétricas, considerando-se o regime de trabalho diário com carga.

Para motores que não se dispunha de curvas características, devido a não disponibilidade de dados, foi considerado curvas características de motores elétricos atuais, disponibilizados por fabricantes nacionais.

### **Análise da categoria e isolamento dos motores elétricos**

Dados dos equipamentos em estudo foram catalogados, quanto à categoria e classe de isolamento dos motores elétricos e confrontados com as especificações indicadas na literatura técnica disponível considerando-se o regime de operação do motor e o tipo de carga movimentada.

### **Adequação tarifária**

#### **Análise da demanda de contrato de energia elétrica**

A escolha da demanda de contrato foi baseada no estudo das últimas 24 faturas de energia elétrica das unidades armazenadoras. Este estudo constou de análise dos dados de consumo e demanda no horário de ponta e fora de ponta da unidade armazenadora e do custo dessa energia elétrica e de análise das opções tarifárias existentes.

### **Adequação da iluminação**

Na adequação da iluminação, foram catalogadas todas as lâmpadas existentes na unidade armazenadora de Guaíra e Ituverava, passíveis de racionalização de energia. Para tanto, foram anotadas as respectivas potências nominais e horas de funcionamento diárias e o aspecto de conservação das lâmpadas e luminárias.

Os estudos de adequação da iluminação considerou que a substituição de sistemas de iluminação no mínimo mantivesse os padrões de iluminamento ( $\text{lm m}^{-2}$ ) dos ambientes considerados. Neste estudo não foi avaliado os atuais níveis de iluminamento dos diferentes ambientes.

### **Qualidade de energia**

Foi medido o valor da tensão e corrente elétrica nas três fases, em diversos pontos das unidades armazenadoras, com um multímetro alicate digital aferido. De posse desses valores, calculou-se a variação do nível e o desequilíbrio dos valores de tensão e corrente, bem como a influência da qualidade de energia no rendimento dos equipamentos elétricos.

### **3.4.2. Estudos de caso - Aplicação da metodologia em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orândia (CAROL)**

Foi aplicada a metodologia proposta nos equipamentos de duas unidades armazenadoras da CAROL, Guaíra e Ituverava.

### **3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Com os dados coletados nas duas unidades armazenadoras da CAROL (Ituverava e Guaira), realizou-se um estudo de caso incluindo: (i) uso de equipamentos eficientes e adequação de força motriz; (ii) análise da categoria e isolamento dos motores elétricos; (iii) adequação tarifária; (iv) adequação da iluminação; e (v) qualidade de energia.

#### **3.5.1. Racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras de produtos agrícolas**

Em geral, a utilização de energia elétrica em unidades armazenadoras é eficiente. Entretanto, o potencial de racionalização do uso de energia elétrica é imenso.

Os responsáveis pela utilização dos equipamentos não possuem uma formação técnica básica, o que proporcionaria a melhor utilização deste recurso nas unidades armazenadoras.

O uso de energia elétrica pode ser racionalizado, principalmente em motores elétricos, compressores, sistema de iluminação e sistema tarifário acompanhados da utilização de equipamentos eficientes.

Há de se ponderar a inexistência da obrigatoriedade da certificação de equipamentos eletroeletrônicos, bem como do uso de fatores de dimensionamento e, ou de segurança, que geralmente levam ao superdimensionamento.

### 3.5.2. Estudos de caso – Aplicação da metodologia em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia (CAROL)

#### Uso de equipamentos eficientes - adequação de força motriz

Apresenta-se, a seguir, a caracterização de rendimento e carregamento dos motores elétricos, que estavam em operação na época da coleta de dados nas unidades armazenadoras de Ituverava e Guaira (Quadros 3.4 e 3.5) respectivamente, no período de safra do ano de 2002/2003.

#### Unidade armazenadora de Ituverava

Quadro 3.4. Relação e características de motores instalados nos diferentes equipamentos, que compõem a unidade armazenadora de Ituverava (Continua)

| Equipamento | Corrente nominal<br>A | Corrente de trabalho<br>A | Motor utilizado<br>cv | Carregamento do motor<br>% | Rendimento do motor<br>% |
|-------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|
| EL 02       | 29                    | 15,9                      | 20                    | 30                         | 80,62                    |
| EL 03       | 29                    | 14,7                      | 20                    | 23                         | 76,00                    |
| EX. MPL 01  | 15                    | 8,1                       | 10                    | 23                         | 72,70                    |
| EX. MPL 02  | 15                    | 8,1                       | 10                    | 23                         | 72,70                    |
| EX. MPL 03  | 15                    | 8,45                      | 10                    | 29                         | 77,00                    |
| EX. MPL 04  | 15                    | 8,45                      | 10                    | 29                         | 77,00                    |
| FT 01       | 15                    | 10,4                      | 10                    | 55                         | 85,89                    |
| FT 03       | 3,23                  | 3,7                       | 2                     | Carga excessiva            | -                        |
| EL 04       | 30,6                  | 17,5                      | 20                    | 43                         | 85,83                    |
| EL 05       | 30,6                  | -                         | 20                    | -                          | -                        |
| Vent S1     | 142                   | 72,1                      | 100                   | 30                         | 83,92                    |
| Desc. S1    | -                     | 3,9                       | -                     | -                          | -                        |
| Vent S2     | 145                   | 48,7                      | 100                   | Sem carga                  | -                        |
| Desc. S2    | -                     | 4,4                       | -                     | -                          | -                        |
| EL 10       | 14,9                  | -                         | 15                    | -                          | -                        |
| EX. ML 01   | 15,2                  | 17,8                      | 10                    | 123                        | 87,87                    |
| EX. ML 02   | 15,2                  | 17,3                      | 10                    | 119                        | 88,53                    |
| EX. ML 03   | 15,2                  | 18,6                      | 10                    | 126                        | 87,87                    |
| EX. ML 04   | 15,2                  | 17,3                      | 10                    | 119                        | 88,53                    |
| EL 12       | 36,9                  | 22,2                      | 30                    | 38                         | 85,56                    |
| FTs 04      | 12                    | 8,8                       | 7,5                   | 69                         | 87,87                    |
| FTi 05      | 15,2                  | 11,4                      | 10                    | 66                         | 87,21                    |
| EL 13       | 61,5                  | 36,7                      | 50                    | 67                         | 91,17                    |
| EL 06       | 26,4                  | 15,6                      | 20                    | 30                         | 80,62                    |

Quadro 3.4. Relação e características de motores instalados nos diferentes equipamentos, que compõem a unidade armazenadora de Ituverava (Continuação)

|            |      |      |    |                 |       |
|------------|------|------|----|-----------------|-------|
| FT 06      | 3,8  | -    | 2  | -               | -     |
| FT 07      | 8,3  | -    | 5  | -               | -     |
| EL 08      | 26,4 | -    | 20 | -               | -     |
| EL 09      | 26,4 | 13,5 | 20 | 13,5            | 64,12 |
| EL 07      | 32,8 | 14,5 | 25 | Sem carga       | -     |
| EX ML 01   | 15   | 17,3 | 10 | Carga excessiva | -     |
| EX ML 02   | 15   | 17,6 | 10 | Carga excessiva | -     |
| Aeração 01 | 57   | -    | 40 | -               | -     |
| Aeração 02 | 57   | -    | 40 | -               | -     |
| Aeração 03 | 57   | -    | 40 | -               | -     |
| Aeração 04 | 57   | -    | 40 | -               | -     |

No Quadro 3.4, dentre os 19 motores analisados na unidade de Ituverava, 15 estavam com índice de carregamento abaixo daqueles indicados na literatura técnica especializada, o que corresponde a cerca de 79 % do total desses motores.

Consideram-se dimensionados, corretamente, os motores que apresentam índices de carregamento entre 75 e 100 %, resultando um funcionamento otimizado e fator de potência adequado. Abaixo e acima destes valores, o motor poderá estar super ou subdimensionado, respectivamente.

#### Unidade Armazenadora de Guaíra

Quadro 3.5. Relação e características dos motores instalados nos diferentes equipamentos, que compõem a unidade armazenadora de Guaíra (Continua)

| Equipamento    | Corrente nominal | Corrente de trabalho | Motor utilizado | Carregamento do motor | Rendimento do motor |
|----------------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
|                | A                | A                    | cv              | %                     | %                   |
| Vent. SSA 1    | 14,0             | -                    | 10              | -                     | -                   |
| Vent. SSA 2    | 14,0             | -                    | 10              | -                     | -                   |
| Vent. SSA 3    | 14,0             | -                    | 10              | -                     | -                   |
| Vent. SSA 4    | 14,0             | 9,9                  | 10              | 67,0                  | 87,21               |
| Vent. SSA 5    | 14,0             | 10,3                 | 10              | 71,0                  | 87,54               |
| Vent. SSA 6    | 14,0             | 10,3                 | 10              | 71,0                  | 87,54               |
| ROS. DES SSA 3 | 4,8              | -                    | 3               | -                     | -                   |
| ROS. DES SSA 4 | 4,8              | -                    | 3               | -                     | -                   |
| ROS. DES SSA 5 | 4,8              | -                    | 3               | -                     | -                   |
| ROS. DES SSA 6 | 4,8              | 5,8                  | 3               | Carga excessiva       | -                   |
| ROS. DES SSA 7 | 4,8              | -                    | 3               | -                     | -                   |
| ROS. DES SSA 8 | 4,8              | -                    | 3               | -                     | -                   |

Quadro 3.5. Relação e características dos motores instalados nos diferentes equipamentos que compõem a unidade armazenadora (Continuação)

|                    |       |      |       |                 |       |
|--------------------|-------|------|-------|-----------------|-------|
| MPL 1              | 4,8   | -    | 3     | -               | -     |
| EX. MPL 1          | 7,5   | -    | 5     | -               | -     |
| MPL 2              | 4,8   | -    | 3     | -               | -     |
| EX. MPL 2          | 7,5   | 8,8  | 5     | 125             | 84,58 |
| MPL 3              | 4,8   | -    | 3     | -               | -     |
| EX. MPL 3          | 7,5   | -    | 5     | -               | -     |
| MPL 4              | 4,8   | -    | 3     | -               | -     |
| EX. MPL 4          | 7,5   | 7,3  | 5     | 105             | 84,58 |
| EL 1               | 20,0  | 11,3 | 20    | 10              | 55,87 |
| EL 2               | 20,0  | 8,5  | 20    | 5               | 50,00 |
| EL 3               | 19,0  | 13,3 | 15    | 62              | 87,87 |
| EL 4               | 19,0  | 12,3 | 15    | 52,0            | 86,22 |
| EL 5               | 10,0  | 7,1  | 7,5   | 61,0            | 87,21 |
| EL 6               | 10,0  | 9,0  | 7,5   | 88,0            | 88,20 |
| EL 7               | 13,1  | 9,8  | 10,0  | 65,0            | 87,21 |
| EL 8               | 13,1  | 11,3 | 10,0  | 84,0            | 87,87 |
| EL 9               | 13,1  | -    | 10,0  | -               | -     |
| EL 10              | 13,1  | 7,6  | 10,0  | 34,0            | 79,30 |
| EL 11              | 19,0  | 13,9 | 15,0  | 67,0            | 87,87 |
| EL 12              | 36,9  | 14,8 | 30,0  | 17,0            | 74,35 |
| EL 13              | 51,0  | 25,2 | 40,0  | 34,00           | 84,58 |
| EL 14              | 32,8  | 23,2 | 25,0  | 61,0            | 89,19 |
| EL 15              | 36,9  | 25,3 | 30,0  | 63,0            | 89,85 |
| EL 16              | 32,8  | 14,9 | 25,0  | Falta de carga  | -     |
| EL 17              | 51,0  | 42,4 | 40,0  | 84,0            | 90,51 |
| EL 18              | 51,0  | 26,2 | 40,0  | 38,0            | 85,89 |
| EL 19              | 61,5  | 53,5 | 50,0  | 86,0            | 91,83 |
| EX Secador 1       | 65,0  | 66,4 | 60,0  | 95,0            | 91,50 |
| EX Secador 2       | 61,5  | 41,0 | 50,0  | 62,0            | 91,50 |
| EX Secador 3       | 123,0 | 66,4 | 100,0 | 36,0            | 86,55 |
| Ro. Des. Sec1      | 9,95  | 4,5  | 7,5   | Falta de carga  | -     |
| Ro. Des. Sec2      | 7,5   | 6,1  | 5,0   | 85,0            | 84,25 |
| Ro. Des. Sec3      | 4,8   | -    | -     | -               | -     |
| Ro. Des. Sil. Pul. | 8,5   | -    | -     | -               | -     |
| RD 01              | 14,0  | 8,4  | 10,0  | 46,0            | 83,26 |
| MPL 9              | 4,28  | -    | 3,0   | -               | -     |
| Ex. MPL 9          | 7,5   | 10,2 | 5,0   | Carga excessiva | -     |
| MPL 10             | 4,8   | -    | 3,0   | -               | -     |
| Ex. MPL 10         | 7,5   | 10,0 | 5,0   | Carga excessiva | -     |
| ML 5               | 4,8   | -    | 3,0   | -               | -     |
| Ex. MPL 5          | 7,5   | -    | 5,0   | -               | -     |
| ML 6               | 4,8   | -    | 3,0   | -               | -     |
| Ex. ML 6           | 7,5   | -    | 5,0   | -               | -     |
| ML 7               | 4,8   | -    | 3,0   | -               | -     |
| Ex. ML 7           | 7,5   | -    | 5,0   | -               | -     |

Quadro 3.5. Relação e características dos motores instalados nos diferentes equipamentos que compõem a unidade armazenadora (Continuação)

|                        |      |      |      |                 |       |
|------------------------|------|------|------|-----------------|-------|
| ML 8                   | 4,8  | -    | 3,0  | -               | -     |
| Ex. MPL 8              | 7,5  | -    | 5,0  | -               | -     |
| ML 11                  | 4,8  | -    | 3,0  | -               | -     |
| Ex. ML 11              | 7,5  | 10,1 | 5,0  | Carga excessiva | -     |
| ML 12                  | 4,8  | -    | 3,0  | -               | -     |
| Ex. ML 12              | 20   | -    | 5,0  | -               | -     |
| FT1*                   | 19,0 | 6,0  | 15,0 | 32,0            | 81,61 |
| FT2                    | 19,0 | 10,2 | 15,0 | 39,0            | 83,92 |
| FT 4                   | 9,95 | 5,9  | 7,5  | 40,0            | 84,25 |
| FT 5                   | 9,95 | 6,5  | 7,5  | 50,00           | 86,55 |
| FT 3                   | 7,5  | 6,4  | 5,0  | 92,0            | 84,25 |
| FT6 Sup. Sil 1         | 20,0 | -    | 15,0 | -               | -     |
| FT7 Sup. Sil 1         | 26,4 | 14,9 | 20,0 | 41,0            | 84,90 |
| FT8 Inf. Sil 1         | 20,0 | -    | 15,0 | -               | -     |
| FT9 Sup. Sil 2         | 32,8 | 10,8 | 25,0 | Falta de carga  | -     |
| FT10 Inf. Sil 2        | 33,0 | 11,5 | 25,0 | -               | -     |
| Aeraç. Silo Pum.       | 14,0 | -    | 40,0 | -               | -     |
| Aeração 1- V 10        | 51,0 | 35,9 | 40,0 | 69,0            | 90,51 |
| Aeração 2- V 11        | 51,0 | 32,3 | 40,0 | 58              | 89,19 |
| Aeração 3- V 12        | 51,0 | 50,1 | 40,0 | 101             | 90,51 |
| Aeração 4- V 13        | 51,0 | 46,8 | 40,0 | 95              | 90,51 |
| Aeração 5- V 14        | 51,0 | -    | 40,0 | -               | -     |
| Aeração 6- V 15        | 51,0 | -    | 40,0 | -               | -     |
| Aeração 7- V 16        | 51,0 | 44,8 | 40,0 | 90,0            | 90,51 |
| Aeração 8- V 17        | 51,0 | -    | 40,0 | -               | -     |
| Ex. teto 1 silo 2      | 3,23 | -    | 2,0  | -               | -     |
| Ex. teto 2 silo 2      | 3,23 | 2,4  | 2,0  | 50,0            | 74,02 |
| Ex. teto 3 silo 2      | 3,23 | 2,4  | 2,0  | 50,0            | 74,02 |
| Ex. teto 4 silo 2      | 3,23 | 2,5  | 2,0  | 60,0            | 76,33 |
| Ex. teto 5 silo 2      | 3,23 | 2,4  | 2,0  | 50,0            | 74,02 |
| Ex. teto 6 silo 2      | 3,23 | 2,3  | 2,0  | -               | -     |
| Ex. teto 7 silo 2      | 3,23 | 2,4  | 2,0  | 50,0            | 74,02 |
| Ex. teto 8 silo 2      | 3,23 | 2,4  | 2,0  | 50,0            | 74,02 |
| Ex. teto 9 silo 2      | 3,23 | 2,3  | 2,0  | 40,0            | 70,72 |
| Ex. teto 10 silo 2     | 3,23 | -    | 2,0  | -               | -     |
| Ventilação túnel-moega | 13,1 | 11,4 | 10,0 | 85,0            | 87,87 |

\* Equipamento utilizado para exemplificação de análise técnico-econômica.

No Quadro 3.5, dentre os 46 motores analisados da unidade de Guaíra, 71,41% ou 33 motores estavam com o índice de carregamento abaixo dos índices indicados na literatura técnica disponível.

Diante do exposto, a unidade armazenadora de Ituverava está em situação ainda mais crítica que a unidade de Guaíra, pois, quase 80% de seus motores apresentavam o índice de carregamento abaixo do indicado na literatura técnica disponível.

Segue-se um exemplo da metodologia aplicada para análise do motor da fita transportadora 1 (FT1) da unidade armazenadora de Guaíra.

### Exemplo de análise técnico-econômica para a fita transportadora 1 (FT 1)

Para exemplificar a adequação de força motriz, avaliou-se o motor da fita transportadora 1 (FT1) da unidade de Guaíra.

Os parâmetros apresentados no Quadro 3.6 são os dados utilizados para a análise do motor da FT1, sendo que algumas considerações serão feitas posteriormente.

Quadro 3.6. Parâmetros de entrada para análise econômica de vida útil da adequação de força motriz e de corrente da FT1

| Motor 2  | Unidade               | Motor PD | Motor PD adq. | Motor ARP adq 1 | Motor ARP adq. 2 |
|--|-----------------------|----------|---------------|-----------------|------------------|
| Potência   | cv                    | 15       | 6             | 7,5             | 10               |
| Tensão   | V                     | 380      | 380           | 380             | 380              |
| Pólos  | und                   | 4        | 4             | 4               | 4                |
| Conjugado nominal  | Nm                    | 60       | 24,4          | 30,3            | 39,9             |
| Conjugado de partida                                     | Nm                    | 138      | 56,12         | 72,72           | 91,77            |
| Conjugado máximo   | Nm                    | 168      | 65,88         | 87,87           | 119,7            |
| Categoria N  |                       | sim      | sim           | sim             | sim              |
| Índice de carregamento                                   | %                     | 32,00 %  | 98,00 %       | 78,00 %         | 59,00 %          |
| Rendimento   | %                     | 81,61 %  | 84,00 %       | 86,00 %         | 89,00 %          |
| Corrente lida / e que seria lida com a troca dos motores | (A)                   | 10,2     | 9,13          | 9,72            | 10,32            |
| Preço do motor – catálogo da WEG                         | R\$                   | 497,97   | 326,78        | 468,41          | 592,06           |
| Horas de funcionamento                                   | h ano <sup>-1</sup>   | 3.312    | 3.312         | 3.312           | 3.312            |
| Juros  | % ano <sup>-1</sup>   | 8        | 8             | 8               | 8                |
| Valor de sucata  | % do novo             | 20       | 20            | 20              | 20               |
| Custo unitário da energia                                | R\$ kWh <sup>-1</sup> | 0,06343  | 0,06343       | 0,06343         | 0,06343          |
| Custo unitário da demanda                                | R\$ kW <sup>-1</sup>  | 7,67     | 7,67          | 7,67            | 7,67             |
| Aumento da energia acima da inflação                     | % ano <sup>-1</sup>   | 2        | 2             | 2               | 2                |
| Manutenção   | %                     | 1        | 1             | 1               | 1                |
| Horizonte de planejamento                                | Anos                  | 10       | 10            | 10              | 10               |
| Consumo anual  | kWh ano <sup>-1</sup> | 16992,55 | 17059,63      | 16602,80        | 15988,50         |
| Custo com consumo de energia                             | R\$ ano <sup>-1</sup> | 1.077,84 | 1.082,09      | R\$ 1.053,12    | R\$ 1.014,15     |
| Manutenção   | R\$ ano <sup>-1</sup> | 4,98     | 3,27          | 4,68            | 5,92             |
| Custo com demanda de energia                             | R\$ ano <sup>-1</sup> | 1.210,82 | 474,08        | 461,39          | 444,32           |

Legenda:

PD = motor tipo padrão;

PD adq = motor tipo padrão adequado à condição de carga;

ARP adq1 = motor de alto rendimento adequado a condição de carga e condição de corrente 1; e

ARP adq2 = motor de alto rendimento adequado a condição de carga e condição de corrente 2.

Neste caso, o motor mais indicado para substituir o motor padrão de 15 cv, que está com um índice de carregamento (IC) de 32,00%, é um motor de alto rendimento, adequado à condição de carga e de corrente, com potência de 10 cv.

Quadro 3.7. Resultados da análise econômica de vida útil para as opções estudadas

| Índices econômicos                            | PD – PD adq         | PD – ARP adq 1      | PD – ARP adq 2      |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| TIR   | Não convergente     | Não convergente     | 901%                |
| VPL   | R\$ 5.603,98        | R\$ 5.761,28        | R\$ 6.044,07        |
| R. B/C  | 32,74               | 194,90              | 64,24               |
| TRC   | Imediato            | Imediato            | 2 meses             |
| Economia anual com gastos de energia elétrica | R\$ 732,48 (32,00%) | R\$ 774,15 (33,83%) | R\$ 830,19 (36,27%) |

Legenda:

- TIR = taxa interna de retorno;
- VPL = valor presente líquido;
- RBC = relação benefício / custo; e
- TRC = tempo de retorno de capital.

Utilizando-se este motor para a análise de vida útil, seus parâmetros econômicos seriam: (i) taxa interna de retorno (TIR) de 901%; (ii) valor presente líquido (VPL) de R\$ 6.044,07; (iii) relação benefício-custo (RBC) de 64,24 vezes; (iv) tempo de retorno de capital (TRC) de 2 meses; e (v) economia anual com gastos de energia de energia elétrica de R\$ 830,19 (36,27%). Esta análise é válida para as condições experimentais, conforme os resultados observados para a safra 2002/2003, Quadro 3.7. Cabe ressaltar que, a viabilidade econômica dos motores mais antigos que não se dispunha das curvas características originais e para os quais foram adotadas as curvas características de motores dos catálogos eletrônicos dos fabricantes, deverá ser maior, haja vista que em geral os motores mais antigos possuem rendimentos menores do que os mais atuais

Para a realização da adequação de força motriz, se deve considerar somente o investimento em motores novos para as possíveis substituições, uma vez que poderá ocorrer um remanejamento interno dos motores. O comando e a proteção em uso poderão, também, ser remanejados. Para completar a adequação de força motriz, torna-se necessária uma simulação do regime de partida dos motores elétricos com a carga de trabalho e sua influência na temperatura de operação dos motores.

### Análise da categoria e da classe de isolamento dos motores elétricos

Os dados de categoria e classe de isolamento dos motores elétricos, referentes às unidades armazenadora de Ituverava e Guáira, são descritos a seguir.

Quadro 3.8. Relação e características técnicas, categoria e classe de isolamento dos motores instalados nos diferentes equipamentos que compõem a unidade armazenadora de Ituverava

| Equipamento | Categoria | Classe de isolamento | Motor utilizado kW (cv) | Categoria indicada | Classe de isolamento indicado |
|-------------|-----------|----------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------|
| EL 02       | N (vent)  | B                    | 14,72 (20)              | D (elev)           | B*                            |
| EL 03       | N (vent)  | B                    | 14,72 (20)              | D (elev)           | B*                            |
| Vent S1     | N (vent)  | B                    | 73,6 (100)              | N (vent)           | B*                            |
| Vent S2     | N (vent)  | B                    | 73,6 (100)              | N (vent)           | B*                            |
| FTs 04      | N (vent)  | B                    | 5,52 (7,5)              | H (fita)           | B*                            |
| FTi 05      | N (vent)  | B                    | 7,36 (10)               | H (fita)           | B*                            |
| FT 06       | N (vent)  | B                    | 1,47 (2)                | H (fita)           | B*                            |
| FT 07       | N (vent)  | B                    | 3,68 (5)                | H (fita)           | B*                            |
| Aeração 01  | N (vent)  | B                    | 29,44 (40)              | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 02  | N (vent)  | B                    | 29,44 (40)              | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 03  | N (vent)  | B                    | 29,44 (40)              | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 04  | N (vent)  | B                    | 29,44 (40)              | N (vent)           | B*                            |

B\* - Utilização da classe de isolamento B, com restrições.

De acordo com o Quadro 3.8, dentre os 12 (doze) motores analisados na unidade de Ituverava, 6 (seis) (50%) estavam em funcionamento com a especificação de conjugado não recomendada para as funções especificadas. Para os elevadores, devido às características de conjugado desta carga para motores de categoria D e para as fitas transportadoras, segundo a literatura técnica, o motor categoria H seria indicado. Desta forma, se um motor de determinada categoria específica for utilizado em outras funções, poderá causar a queima do motor, devido à falta de torque necessário à carga e o superdimensionamento de motores elétricos serviria, apenas, para legitimar um erro na escolha da categoria do motor elétrico.

Quanto à classe de isolamento, todos os motores em estudo pertencem à classe B. A vida útil do motor elétrico está ligada, diretamente, a danos no isolamento dos enrolamentos, que se deteriora, tornando-se ressecado e quebradiço. A vida média dos isolantes dos motores elétricos tem um valor estimado em torno de 20 anos (ELETROBRÁS, 2004). Por exemplo, um determinado material isolante operando a 130 °C (temperatura máxima suportada na categoria B), teria um tempo de vida útil

esperado igual a 50.000 horas, o que equivaleria, em média, a mais de 12 anos operando continuamente 12 horas, por dia, nesta temperatura. Se a temperatura de operação for 10 °C maior, sendo então 140 °C, seu tempo de vida útil reduz-se a, aproximadamente, 25.000 horas, ou seja, reduzindo-se à metade da vida útil para a situação anterior.

### Unidade armazenadora de Guaíra

Os dados coletados para categoria e classe de isolamento dos motores elétricos, referentes às unidades armazenadoras de Guaíra, são apresentados no Quadro 3.9.

De acordo com o Quadro 3.9, dentre os 18 motores analisados na unidade de Ituverava, 3 (17%) estavam em funcionamento com a especificação de conjugado não recomendada para funções especificadas (ELETROBRÁS, 2004). Nesta unidade, infelizmente, nenhum elevador de caçambas foi analisado. Para os elevadores, devido às características de conjugado desta carga, sugerem-se motores de categoria D, sendo que, para as fitas transportadoras, segundo a literatura técnica, seria indicado o motor categoria H. Quanto à classe de isolamento, todos os motores pertencem à classe B também, sendo que a mesma discussão apresentada para a unidade armazenadora de Ituverava aplica-se à unidade armazenadora de Guaíra.

Quadro 3.9. Relação e características técnicas, categoria e classe de isolamento dos motores instalados nos diferentes equipamentos que compõem a unidade armazenadora de Guaíra

| Equipamento     | Categoria | Classe de isolamento | Motor utilizado | Categoria indicada | Classe de isolamento indicado |
|-----------------|-----------|----------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------|
| Vent. SSA 1     | N (vent)  | B                    | 10              | N (vent)           | B*                            |
| Vent. SSA 2     | N (vent)  | B                    | 10              | N (vent)           | B*                            |
| Vent. SSA 3     | N (vent)  | B                    | 10              | N (vent)           | B*                            |
| Vent. SSA 4     | N (vent)  | B                    | 10              | N (vent)           | B*                            |
| Vent. SSA 5     | N (vent)  | B                    | 10              | N (vent)           | B*                            |
| Vent. SSA 6     | N (vent)  | B                    | 10              | N (vent)           | B*                            |
| Ro. Des. Sec2   | N (vent)  | B                    | 5,0             | H (rosca)          | B*                            |
| FT1             | N (vent)  | B                    | 15,0            | H (fita)           | B*                            |
| FT2             | H (fita)  | B                    | 15,0            | H (fita)           | B*                            |
| FT9 Sup. Sil 2  | N (vent)  | B                    | 25,0            | H (fita)           | B*                            |
| Aeração 1- V 10 | N (vent)  | B                    | 40,0            | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 2- V 11 | N (vent)  | B                    | 40,0            | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 3- V 12 | N (vent)  | B                    | 40,0            | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 4- V 13 | N (vent)  | B                    | 40,0            | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 5- V 14 | N (vent)  | B                    | 40,0            | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 6- V 15 | N (vent)  | B                    | 40,0            | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 7- V 16 | N (vent)  | B                    | 40,0            | N (vent)           | B*                            |
| Aeração 8- V 17 | N (vent)  | B                    | 40,0            | N (vent)           | B*                            |

B\* - Utilização da classe de isolamento B, com restrições.

## Adequação Tarifária

De acordo com os dados de demanda e consumo, coletados das faturas de energia elétrica relativas a dois anos (2001/2002 e 2002/2003) e do contrato de demanda das unidades armazenadoras, apresenta-se a seguinte análise técnica (Quadro 3.10).

Quadro 3.10. Adequação tarifária para a unidade armazenadora de Ituverava com as faturas de energia elétrica do biênio 2001/2002 e 2002/2003, respectivamente

| Demanda otimizada = 254 kW            |         |                              |                                    |                                |                                    |
|---------------------------------------|---------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Mês do ano                            | Demanda | Tarifa de demanda contratada | Tarifa de demanda de ultrapassagem | Gasto com demanda contratada   | Gasto com demanda de ultrapassagem |
|                                       | kW      | R\$ kW <sup>-1</sup>         | R\$ kW <sup>-1</sup>               | R\$                            | R\$                                |
| 2001/2002                             |         |                              |                                    |                                |                                    |
| Março                                 | 305     | 5,45                         | 16,35                              | 1.384,30                       | 833,85                             |
| Abril                                 | 274     | 5,90                         | 17,69                              | 1.497,60                       | 117,92                             |
| Maio                                  | 166     | 6,37                         | 19,11                              | 1.617,98                       | -                                  |
| Junho                                 | 150     | 6,37                         | 19,11                              | 1.617,98                       | -                                  |
| Julho                                 | 279     | 6,37                         | 19,11                              | 1.617,98                       | 159,25                             |
| Agosto                                | 265     | 6,37                         | 19,11                              | 1.617,98                       | 70,07                              |
| Outubro                               | 146     | 6,37                         | 19,11                              | 1.617,98                       | -                                  |
| Novembro                              | 140     | 6,37                         | 19,11                              | 1.617,98                       | -                                  |
| Dezembro                              | 144     | 6,37                         | 19,11                              | 1.617,98                       | -                                  |
| Janeiro                               | 73      | 6,79                         | 20,38                              | 1.725,74                       | -                                  |
| Fevereiro                             | 154     | 6,87                         | 20,61                              | 1.744,98                       | -                                  |
| Março                                 | 311     | 6,87                         | 20,61                              | 1.744,98                       | 1.174,77                           |
|                                       |         |                              |                                    | Demanda contratada = 340 kW    |                                    |
| Ganho anual com a adequação tarifária |         |                              |                                    | R\$ 4.220,60 ano <sup>-1</sup> |                                    |
| Redução da demanda de contrato        |         |                              |                                    | 25,29%                         |                                    |
| Demanda otimizada = 200 kW            |         |                              |                                    |                                |                                    |
| Mês do ano                            | Demanda | Tarifa de demanda contratada | Tarifa de demanda de ultrapassagem | Gasto com demanda contratada   | Gasto com demanda de ultrapassagem |
|                                       | kW      | R\$ kW <sup>-1</sup>         | R\$ kW <sup>-1</sup>               | R\$                            | R\$                                |
| 2003/2002                             |         |                              |                                    |                                |                                    |
| Março                                 | 311     | 6,87                         | 20,61                              | 1374,00                        | 2287,71                            |
| Abril                                 | 278     | 7,30                         | 21,90                              | 1459,71                        | 1707,86                            |
| Maio                                  | 153     | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | -                                  |
| Junho                                 | 148     | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | -                                  |
| Julho                                 | 220     | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | 153,4                              |
| Agosto                                | 255     | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | 1265,55                            |
| Setembro                              | 185     | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | -                                  |
| Outubro                               | 99      | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | -                                  |
| Novembro                              | 49      | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | -                                  |
| Dezembro                              | 36      | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | -                                  |
| Janeiro                               | 42      | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | -                                  |
| Fevereiro                             | 210     | 7,67                         | 23,01                              | 1534,00                        | 76,7                               |
|                                       |         |                              |                                    | Demanda contratada = 340 kW    |                                    |
| Ganho anual com a adequação tarifária |         |                              |                                    | R\$ 7.230,40 ano <sup>-1</sup> |                                    |
| Redução da demanda de contrato        |         |                              |                                    | 41,18%                         |                                    |

Segundo o Quadro 3.10, na simulação feita com os dados de energia elétrica da unidade armazenadora de Ituverava, correspondente ao período de março/2001 a março/2002, a demanda de contrato sugerida foi de 254 kW. Com os dados do ano posterior (março/2002 a fevereiro/2003), observou-se que a demanda de 254 kW aproximou-se dos valores da demanda ótima (200 kW), em comparação com a demanda de contrato escolhida (340 kW). Caso a demanda de 254 kW fosse adotada como demanda de contrato da safra 2002/2003, a economia anual seria de R\$ 7.230,00 (41,18%). A otimização na escolha da demanda de contrato teria maior importância, sendo que ela representaria uma redução de, aproximadamente, 25,29% em relação à demanda contratada, representando uma redução média de R\$ 4.220,6 ano<sup>-1</sup> na conta de energia elétrica.

O Quadro 3.11 mostra a análise tarifária da unidade armazenadora de Guaira considerando as faturas de energia elétrica do biênio 2001/2002 e 2002/2003

Quadro 3.11. Adequação tarifária para a unidade armazenadora de Guaira com as faturas de energia elétrica do biênio 2001/2002 e 2002/2003, respectivamente (Continua)

| Demanda otimizada = 280 kW            |         |                              |                                    |                              |                                    |                    |                                 |
|---------------------------------------|---------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Mês do ano                            | Demanda | Tarifa de demanda contratada | Tarifa de demanda de ultrapassagem | Gasto com demanda contratada | Gasto com demanda de ultrapassagem | Demanda contratada | Gasto anual de energia elétrica |
|                                       | kW      | R\$/kW                       | R\$/kW                             | R\$                          |                                    | kW                 | R\$ ano <sup>-1</sup>           |
| 2001/2002                             |         |                              |                                    |                              |                                    |                    |                                 |
| Maio                                  | 368     | 6,87                         | 20,61                              | 2.404,50                     | 123,66                             |                    |                                 |
| Junho                                 | 307     | 6,37                         | 19,11                              | 2.229,50                     | -                                  |                    |                                 |
| Julho                                 | 269     | 6,37                         | 19,11                              | 2.229,50                     | -                                  | 270                | 35.878,00                       |
| Agosto                                | 285     | 6,37                         | 19,11                              | 2.229,50                     | -                                  | 276                | 35.826,00                       |
| Setembro                              | 244     | 6,37                         | 19,11                              | 2.229,50                     | -                                  | 278                | 35.808,00                       |
| Outubro                               | 238     | 6,37                         | 19,11                              | 2.229,50                     | -                                  | 279                | 35.799,00                       |
| Novembro                              | 184     | 6,37                         | 19,11                              | 2.229,50                     | -                                  | 280                | 35.447,00                       |
| Dezembro                              | 181     | 6,37                         | 19,11                              | 2.229,50                     | -                                  | 282                | 35.455,00                       |
| Janeiro                               | 179     | 6,63                         | 19,88                              | 2.319,82                     | -                                  | 283                | 35.456,00                       |
| Fevereiro                             | 231     | 6,87                         | 20,61                              | 2.404,50                     | -                                  | 284                | 35.462,00                       |
| Março                                 | 535     | 6,87                         | 20,61                              | 2.404,50                     | 3.812,85                           | 290                | 35.518,00                       |
| Abril                                 | 573     | 6,96                         | 20,87                              | 2.434,50                     | 4.653,37                           | 350                | 36.164,20                       |
| Demanda contratada = 350 kW           |         |                              |                                    |                              |                                    |                    |                                 |
| Ganho anual com a adequação tarifária |         |                              |                                    |                              | R\$ 717,20 ano <sup>-1</sup>       |                    |                                 |
| Redução da demanda de contrato        |         |                              |                                    |                              | 20,00 %                            |                    |                                 |

Quadro 3.11. Adequação tarifária para a unidade armazenadora de Guaíra com as faturas de energia elétrica do biênio 2001/2002 e 2002/2003, respectivamente (Continuação)

| Demanda otimizada = 282 kW            |         |                              |                                    |                              |                                    |                             |                                 |
|---------------------------------------|---------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Mês do ano                            | Demanda | Tarifa de demanda contratada | Tarifa de demanda de ultrapassagem | Gasto com demanda contratada | Gasto com demanda de ultrapassagem | Demanda contratada          | Gasto anual de energia elétrica |
|                                       | kW      | R\$/kW                       | R\$/kW                             | R\$                          |                                    | kW                          | R\$ ano <sup>-1</sup>           |
| 2002/2003                             |         |                              |                                    |                              |                                    |                             |                                 |
| Março                                 | 535     | 6,87                         | 20,61                              | 2.404,50                     | 3.812,85                           | 279                         | 39.728,00                       |
| Abril                                 | 573     | 6,96                         | 20,87                              | 2.434,50                     | 4.653,37                           | 280                         | 39.294,00                       |
| Mai                                   | 353     | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | 23,01                              | 281                         | 39.289,00                       |
| Junho                                 | 264     | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | -                                  | 282                         | 38.855,00                       |
| Julho                                 | 310     | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | -                                  | 283                         | 38.866,00                       |
| Agosto                                | 307     | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | -                                  | 284                         | 38.877,00                       |
| Setembro                              | 226     | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | -                                  | 285                         | 38.887,00                       |
| Outubro                               | 194     | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | -                                  | 289                         | 38.930,00                       |
| Novembro                              | 150     | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | -                                  | 290                         | 38.941,00                       |
| Dezembro                              | 81      | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | -                                  | 291                         | 38.951,00                       |
| Janeiro                               | 146     | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | -                                  | 293                         | 38.973,00                       |
| Fevereiro                             | 210     | 7,67                         | 23,01                              | 2.684,50                     | -                                  | 295                         | 38.994,00                       |
|                                       |         |                              |                                    |                              |                                    | 300                         | 39.047,00                       |
|                                       |         |                              |                                    |                              |                                    | Demanda contratada = 350 kW | 350 40.173,200                  |
| Ganho anual com a adequação tarifária |         |                              |                                    |                              | R\$ 1.318,20 ano <sup>-1</sup>     |                             |                                 |
| Redução da demanda de contrato        |         |                              |                                    |                              | 19,43 %                            |                             |                                 |

No Quadro 3.11, com base nos dados das contas de energia elétrica correspondente ao período entre março de 2001 e março de 2002, a demanda de contrato sugerida seria de 280 kW. Nos dados das contas relativas ao ano posterior (março/2002 a fevereiro/2003), observou-se que a demanda de 280 kW estaria mais próxima da demanda ótima (282 kW) do que a demanda de contratada (350 kW). Caso a demanda de 280 kW fosse adotada como demanda de contrato da safra 2002/2003, a economia anual seria de R\$ 717,20. A demanda de contrato a ser implementada, com base nas informações contidas nas últimas 24 contas de energia elétrica, para a unidade de Guaíra, seria de 280 a 282 kW. Esta opção de contrato proporcionaria uma redução aproximada de 19% na demanda contratada, representando uma redução média de R\$ 1.000,00 ano<sup>-1</sup> na conta de energia elétrica.

A aproximação dos valores para a demanda de potência contratada para as unidades de Ituverava e de Guaíra, ou seja, de 340 kW e 350 kW, foi outro aspecto observado. Conforme os últimos resultados experimentais, observados em Guaíra e Ituverava, a carga instalada da unidade de Guaíra é superior à de Ituverava. Portanto, é de se esperar que as duas unidades e as demais tenham contratos específicos para a demanda de potência.

Uma opção criteriosa, quanto ao contrato da demanda de potência, proporciona economia na conta de energia elétrica e racionaliza seu uso.

A análise tarifária deve ser feita, anualmente. O ganho percentual devido ao correto enquadramento tarifário será maior no primeiro ano de implantação deste procedimento. O ganho nas contas de energia elétrica devido à adequação do uso de força motriz, adequação da iluminação e outras medidas será melhor percebido após o enquadramento tarifário.

### Adequação da iluminação

Para adequação da iluminação, foi proposta a utilização de equipamentos eficientes. As informações referentes a iluminação, coletadas nas unidades armazenadora, são sumarizadas no Quadro 3.12 e 3.13.

Quadro 3.12. Cargas de iluminação da unidade armazenadora de Ituverava

| Local                                    | Nº de lâmpadas e potência (W) |              |          | Horas de funcionamento diário - média |
|--|-------------------------------|--------------|----------|---------------------------------------|
|  | Incandescente                 | Fluorescente | Mista    |                                       |
| Portaria (1)                             |                               |              | 1 x 160  | 8                                     |
| Galpão de implementos                    |                               |              | 1 x 160  | 6                                     |
| Balança rodoviária                       |                               | 8 x 40       |          | 8                                     |
| Galpão de farelos                        |                               |              | 2 x 160  | 4                                     |
| Oficina mecânica                         |                               |              | 2 x 160  | 4                                     |
| Moegas de recepção                       |                               |              | 12 x 160 | 4                                     |
| Sala de determinação de teor de água     |                               | 2 x 40       |          | 8                                     |
| Pátio das máquinas de pré-limpeza        |                               |              | 4 x 160  | 8                                     |
| Sala de comando e proteção de motores I  |                               | 2 x 40       |          | 1                                     |
| Sala de comando e proteção de motores II |                               | 2 x 40       |          | 1                                     |
| Pátio dos secadores                      |                               | 1 x 40       | 3 x 160  | 4                                     |
| Pátio das máquinas de limpeza            |                               |              | 4 x 160  | 4                                     |
| Banheiro                                 | 2 x 60                        |              |          | 2                                     |
| Sala de termometria                      |                               | 1 x 40       |          | 1                                     |
| Teto do graneleiro                       |                               |              | 10 x 160 | 8                                     |
| Moega velha                              |                               |              | 2 x 160  | 4                                     |
| Máquinas de limpeza / moega velha        |                               |              | 2 x 160  | 4                                     |
| Túnel do graneleiro                      |                               |              | 8 x 160  | 2                                     |
| Túnel da fita 01                         |                               |              | 10 x 160 | 6                                     |
| Fosso dos elevadores                     |                               |              | 10 x 160 | 2                                     |
| Escritório                               |                               | 20 x 40      |          | 8                                     |
| Iluminação externa (15 postes)           |                               |              | 15 x 160 | 12                                    |

Quadro 3.13. Cargas de iluminação da unidade armazenadora de Guaira

| Local                                     | Nº de lâmpadas e Potência (W) |              |          | Horas de funcionamento diário - média |
|---|-------------------------------|--------------|----------|---------------------------------------|
|   | Incandescente                 | Fluorescente | Mista    |                                       |
| Portaria (1)                              |                               | 2x40         |          | 14                                    |
| Balança rodoviária                        |                               | 2x40         |          | 6                                     |
| Escritório                                |                               | 12 x 40      |          | 8                                     |
| Loja                                      |                               | 16 x 40      |          | 8                                     |
| Galpão de insumos                         |                               |              | 6 x 160  | 4                                     |
| Galpão de equipamentos                    |                               |              | 6 x 160  | 4                                     |
| Cozinha                                   | 60                            |              |          | 4                                     |
| Banheiro                                  |                               | 8 x 40       |          | 3                                     |
| Oficina mecânica                          |                               |              | 2 x 160  | 4                                     |
| Almoxarifado                              |                               |              | 2 x 160  | 1                                     |
| Moegas de recepção                        |                               |              | 32 x 160 | 4                                     |
| Sala de determinação de teor de água      |                               | 2 x 20       |          | 8                                     |
| Escritório do encarregado                 |                               | 2 x 20       |          | 8                                     |
| Pátio das máquinas de pré-limpeza I e II  |                               |              | 4 x 160  | 8                                     |
| Sala de comando e proteção de motores I   |                               | 2 x 20       |          | 1                                     |
| Sala de comando e proteção de motores II  |                               | 2 x 20       |          | 1                                     |
| Sala de comando e proteção de motores III |                               | 2 x 20       |          | 1                                     |
| Pátio das máquinas de Pré-limpeza III     |                               |              | 8 x 160  | 8                                     |
| Pátio do secador III                      |                               |              | 4 x 160  | 4                                     |
| Sala de comando IV                        |                               | 2 x 20       |          | 1                                     |
| Teto do graneleiro I                      |                               |              | 8 x 160  | 8                                     |
| Teto do graneleiro II                     |                               |              | 8 x 160  | 8                                     |
| Túnel do graneleiro I                     |                               |              | 8 x 160  | 2                                     |
| Túnel do graneleiro II                    |                               |              | 8 x 160  | 2                                     |
| Túnel das fita 01 e 02                    |                               |              | 10 x 160 | 6                                     |
| Túnel da fita transversal                 |                               |              | 8 x 160  | 8                                     |
| Fosso dos elevadores                      |                               |              | 18 x 160 | 2                                     |
| Sala de termometria                       |                               | 2 x 20       |          | 0,5                                   |
| Iluminação externa (15 postes)            |                               |              | 16 x 160 | 12                                    |

De posse dos Quadros 3.12 e 3.13 e a possibilidade de utilização de equipamentos mais eficientes pode-se obter o Quadro 3.14.

Neste estudo, considerou-se para substituições: (i) no lugar de lâmpadas incandescentes de 60 W, a utilização de lâmpadas fluorescentes compactas de 11 W, ambas praticamente com a mesma eficiência energética; (ii) em substituição a lâmpadas fluorescentes de 40 W com reator eletromagnético, a utilização de lâmpadas fluorescentes de 32 W com reator eletrônico; e (iii) em substituição à utilização de lâmpadas mistas de 160 W de potência, propôs-se a utilização de lâmpadas de vapor de sódio de 70 W.

Quadro 3.14. Custo com iluminação das unidades armazenadoras de Ituverava e Guaíra com os equipamentos atuais e com equipamentos eficientes

|  | Unidade de<br>Ituverava<br>R\$ | Unidade de<br>Guaíra<br>R\$ | Total<br>R\$ |
|--|--------------------------------|-----------------------------|--------------|
| Gasto com energia elétrica, considerando-se a iluminação com equipamentos atuais                         | 691,38                         | 1069,17                     | 1760,55      |
| Gasto com energia elétrica, considerando-se o sistema de iluminação composto por equipamentos eficientes | 328,36                         | 500,17                      | 828,53       |
| Economia (R\$ mês <sup>-1</sup> )  | 363,02                         | 569,00                      | 932,02       |
| Economia (R\$ ano <sup>-1</sup> )  | 4.356,24                       | 6.828,00                    | 11.184,24    |
| Economia (%)   | 47,49                          | 46,78                       | 52,94        |

De acordo com o Quadro 3.14 a possibilidade de economia com a adoção de novas tecnologias em iluminação é cerca de 50% no valor pago da conta de energia elétrica, fazendo-se a análise imediata de troca.

Na análise de vida útil para adequação da iluminação das unidades armazenadoras, devem-se considerar os dados de entrada para as unidades armazenadoras de Ituverava e Guaíra (Quadro 3.15 e 3.16).

Quadro 3.15. Dados de entrada para análise da unidade armazenadora de Ituverava com a utilização dos equipamentos atuais e com a utilização de equipamentos eficientes

| Unidade armazenadora de Ituverava                             |                            |        |  |
|---|----------------------------|--------|--|
| Descrição   | Unidade                    | Valor  |  |
| Valor de sucata sem racionalização do uso de energia elétrica | R\$ conjunto <sup>-1</sup> | 0,00   |  |
| Valor de sucata com racionalização de seu uso                 | R\$ conjunto <sup>-1</sup> | 20,00  |  |
| Preço do conjunto (2 lâmpadas com reator) (Kit 32 W)          | R\$                        | 140,00 |  |
| Preço da lâmpada vapor de sódio de 70 W + reator              | R\$                        | 75,00  |  |
| Preço da lâmpada fluorescente compacta (11 W)                 | R\$                        | 10,00  |  |
| Quantidade de conjuntos (luminárias com 2 lâmpadas)           | und                        | 18     |  |
| Quantidade de lâmpadas de vapor de sódio                      | und                        | 76     |  |
| Quantidade de lâmpadas fluorescente compacta (11 W)           | und                        | 2      |  |
| Consumo mensal  | kWh mês <sup>-1</sup>      | 92,18  |  |
| Tarifa de consumo   | R\$ kWh <sup>-1</sup>      | 0,25   |  |
| Gasto com energia elétrica (equipamentos atuais)              | R\$ mês <sup>-1</sup>      | 691,38 |  |
| Gasto com energia elétrica (equipamentos eficientes)          | R\$ mês <sup>-1</sup>      | 328,35 |  |

Quadro 3.16. Dados de entrada para a unidade armazenadora de Guaíra com os equipamentos em funcionamento e com a utilização de equipamentos eficientes

| Unidade armazenadora de Ituverava                             |                            |         |
|---|----------------------------|---------|
| Descrição   | Unidade                    | Valor   |
| Valor de sucata sem racionalização do uso de energia elétrica | R\$ conjunto <sup>-1</sup> | 0,00    |
| Valor de sucata com racionalização de seu uso                 | R\$ conjunto <sup>-1</sup> | 20,00   |
| Preço do conjunto (2 lâmpadas com reator) (Kit 32 W)          | R\$                        | 140,00  |
| Preço da lâmpada vapor de sódio de 70 W + reator              | R\$                        | 75,00   |
| Preço da lâmpada fluorescente compacta (11 W)                 | R\$                        | 10,00   |
| Quantidade de conjuntos (luminárias com 2 lâmpadas)           | und                        | 25      |
| Quantidade de lâmpadas de vapor de sódio                      | und                        | 148     |
| Quantidade de lâmpadas fluorescente compacta (11 W)           | und                        | 2       |
| Consumo mensal  | kWh mês <sup>-1</sup>      | 92,18   |
| Tarifa de consumo   | R\$ kWh <sup>-1</sup>      | 0,25    |
| Gasto com energia elétrica (sem racionalização de seu uso)    | R\$ mês <sup>-1</sup>      | 1069,17 |
| Gasto com energia elétrica (com racionalização de seu uso)    | R\$ mês <sup>-1</sup>      | 500,18  |

De posse dos dados de entrada, foi feita a análise de vida útil para as unidades armazenadoras de Ituverava e Guaíra, para um período de 10 anos (Quadro 3.17 e 3.18).

Quadro 3.17. Análise de vida útil para a unidade armazenadora de Ituverava

| Parâmetros de avaliação econômica | Valor        |
|-----------------------------------|--------------|
| Valor presente líquido (VPL)      | R\$ 5.947,20 |
| Taxa interna de retorno (TIR)     | 32%          |
| Tempo de retorno de capital (TRC) | 3 anos       |

Quadro 3.18. Análise de vida útil para a unidade armazenadora de Guaíra

| Parâmetros de avaliação econômica | Valor        |
|-----------------------------------|--------------|
| Valor presente líquido (VPL)      | R\$ 8.129,52 |
| Taxa interna de retorno (TIR)     | 28%          |
| Tempo de retorno de capital (TRC) | 3,5 anos     |

Nos quadros 3.17 e 3.18, observa-se que, para a vida útil dos equipamentos na unidade armazenadora de Ituverava, VPL foi de R\$ 5.947,20, a TIR foi de 32%, ou seja, muito superior à taxa praticada no mercado (12%) e o TRC foi de 3 anos. Entretanto, para a unidade armazenadora de Guaíra, os índices foram ainda mais atrativos, sendo o VPL de R\$ 8.129,52, a TIR de 28% e o TRC de 3,5 anos. Em ambas as análises foi considerado o custo dos equipamentos novos.

### Qualidade de energia (desequilíbrio e alteração da amplitude de tensão)

Com os dados coletados nas unidades armazenadoras de Ituverava e Guáira, pode-se verificar a qualidade da energia fornecida. Foram estudados o desequilíbrio e a alteração da amplitude de tensão da rede da concessionária de energia elétrica.

#### - Desequilíbrio e alteração da amplitude da tensão da concessionária de energia elétrica

O Quadro 3.19 apresenta os valores de tensão, medidos nas cabines de comando e proteção 1 e 2, no período da manhã do dia 25 de março de 2003, na unidade armazenadora de Ituverava. A tensão nominal é de 380 V.

Quadro 3.19. Tensão medida nas cabines de comando e proteção 1 e 2 da unidade armazenadora de Ituverava

|                 |   | Cabine 1   | Cabine 2 |
|-----------------|---|------------|----------|
| Fases           |   | Tensão (V) |          |
| Fase 1 – Fase 2 | = | 392,0      | 389,1    |
| Fase 1 – Fase 3 | = | 393,2      | 390,2    |
| Fase 2 – Fase 3 | = | 389,8      | 393,2    |

O Quadro 3.20 apresenta os valores de tensão, medidos nas cabines de medição do circuitos 1, 2, 3 e 4 da unidade armazenadora de Guáira. A tensão nominal é de 440 V.

Quadro 3.20. Tensão medida na cabine de medição do circuito 1 da unidade armazenadora de Guáira

|                 |   | Cabine 1   | Cabine 2 | Cabine 3 | Cabine 4 |
|-----------------|---|------------|----------|----------|----------|
| Fases           |   | Tensão (V) |          |          |          |
| Fase 1 – Fase 2 | = | 450        | 448      | 449      | 450      |
| Fase 1 – Fase 3 | = | 451        | 452      | 450      | 448      |
| Fase 2 – Fase 3 | = | 454        | 450      | 451      | 450      |

Com base nos dados de tensão medidos nas unidades armazenadoras, pode-se calcular o desequilíbrio de tensão encontrado na rede.

Os quadros 3.21 e 3.22 apresentam os fatores de redução de potência, que devem ser adotados conforme o valor percentual do desequilíbrio das tensões da rede, em ambas as unidades armazenadoras.

Quadro 3.21. Fatores de redução de potência que devem ser adotados, conforme o valor percentual do desequilíbrio das tensões da rede para motores trifásicos, na unidade armazenadora de Ituverava

| Unidade armazenadora de Ituverava |              |                        |                                   |   |
|-----------------------------------|--------------|------------------------|-----------------------------------|---|
| Fases                             | Valor<br>(V) | Tensão<br>média<br>(V) | Desequilíbrio<br>de tensão<br>(%) | Fatores de redução de potência em função do<br>desequilíbrio de tensão no MIT* categoria N<br>(%) |
| Painel de comando e proteção 1    |              |                        |                                   |   |
| 1 - 2                             | 392          |                        |                                   |   |
| 1 - 3                             | 393,2        | 391,7                  | 0,4                               | 0,99  |
| 2 - 3                             | 389,8        |                        |                                   |   |
| Painel de comando e proteção 2    |              |                        |                                   |   |
| 1 - 2                             | 389,1        |                        |                                   |   |
| 1 - 3                             | 390,2        | 390,8                  | 0,6                               | 0,99  |
| 2 - 3                             | 393,2        |                        |                                   |   |

MIT\* - motor de indução trifásico

Quadro 3.22. Fatores de redução de potência que devem ser adotados conforme o valor percentual do desequilíbrio das tensões da rede para motores trifásicos para a unidade armazenadora de Guaíra

| Unidade armazenadora de Guaíra |              |                        |                                   |   |
|--------------------------------|--------------|------------------------|-----------------------------------|---|
| Fases                          | Valor<br>(V) | Tensão<br>média<br>(V) | Desequilíbrio<br>de tensão<br>(%) | Fatores de redução de potência em função do<br>desequilíbrio de tensão no MIT* categoria N<br>(%) |
| Painel de comando e proteção 1 |              |                        |                                   |   |
| 1 - 2                          | 450          |                        |                                   |   |
| 1 - 3                          | 451          | 451,67                 | 0,5                               | 0,99  |
| 2 - 3                          | 454          |                        |                                   |   |
| Painel de comando e proteção 2 |              |                        |                                   |   |
| 1 - 2                          | 448          |                        |                                   |   |
| 1 - 3                          | 452          | 450,00                 | 0,4                               | 0,99  |
| 2 - 3                          | 450          |                        |                                   |   |
| Painel de comando e proteção 3 |              |                        |                                   |   |
| 1 - 2                          | 449          |                        |                                   |   |
| 1 - 3                          | 450          | 450,00                 | 0,2                               | 1,0   |
| 2 - 3                          | 451          |                        |                                   |   |
| Painel de comando e proteção 4 |              |                        |                                   |   |
| 1 - 2                          | 450          |                        |                                   |   |
| 1 - 3                          | 448          | 449,33                 | 0,1                               | 1,0   |
| 2 - 3                          | 450          |                        |                                   |   |

MIT\* - motor de indução trifásico.

De acordo com os Quadros 3.21 e 3.22 não houve influência significativa devido à redução de potência no eixo dos motores elétricos, decorrente do desequilíbrio das tensões em ambas as unidades armazenadoras.

O Quadro 3.23 mostra a relação entre o desequilíbrio de tensão e influência do desequilíbrio nas correntes de motores trifásicos de indução, na unidade armazenadora de Ituverava.

Quadro 3.23. Desequilíbrio de tensão e influência do desequilíbrio nas correntes de motores trifásicos de indução na unidade armazenadora de Ituverava

| Unidade armazenadora de Ituverava |              |                        |                                   |   |                |                    |
|-----------------------------------|--------------|------------------------|-----------------------------------|---|----------------|--------------------|
| Fases                             | Valor<br>(V) | Tensão<br>média<br>(V) | Desequilíbrio<br>de tensão<br>(%) | Desequilíbrio de corrente em função do<br>desequilíbrio de tensão no MIT* |                |                    |
|                                   |              |                        |                                   | Condição de funcionamento do MIT*   |                |                    |
|                                   |              |                        |                                   | A vazio<br>(%)  | Partida<br>(%) | Plena carga<br>(%) |
| Painel de comando e proteção 1    |              |                        |                                   |   |                |                    |
| 1 - 2                             | 392          |                        |                                   |   |                |                    |
| 1 - 3                             | 393,2        | 391,7                  | 0,4                               | 6   | 1              | 3                  |
| 2 - 3                             | 389,8        |                        |                                   |   |                |                    |
| Painel de comando e proteção 2    |              |                        |                                   |   |                |                    |
| 1 - 2                             | 389,1        |                        |                                   |   |                |                    |
| 1 - 3                             | 390,2        | 390,8                  | 0,6                               | 8   | 1              | 5                  |
| 2 - 3                             | 393,2        |                        |                                   |   |                |                    |

MIT\* - motor de indução trifásico

De acordo com o Quadro 3.23, o nível de desequilíbrio de tensão encontrado na rede fornecida pela concessionária de energia elétrica, variou de 0,4 a 0,6%. Este nível de desequilíbrio de tensão está perfeitamente dentro da lei, segundo a qual o desequilíbrio máximo não deve ultrapassar 1%.

A influência que este desequilíbrio de tensão pode causar nas correntes trifásicas de um motor de indução trifásico variou de 6 a 8%, na corrente a vazio dos motores elétricos, somente de 1% na corrente de partida e de 3 a 5% em plena carga.

Na unidade armazenadora de Guaira, o desequilíbrio de tensão encontrado na rede da concessionária de energia elétrica pode ser calculado, por meio de medição nos quadros de distribuição geral de energia elétrica (Quadro 3.24).

Quadro 3.24. Desequilíbrio de tensão e influência do desequilíbrio nas correntes de motores trifásicos de indução na unidade armazenadora de Guaíra

| Unidade armazenadora de Guaíra   |           |                  |                             |             |             |                 |
|--|-----------|------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-----------------|
| Desequilíbrio de corrente em função do desequilíbrio de tensão no MIT* |           |                  |                             |             |             |                 |
| Condição de funcionamento do MIT*                                      |           |                  |                             |             |             |                 |
| Fases  | Valor (V) | Tensão média (V) | Desequilíbrio de tensão (%) | A vazio (%) | Partida (%) | Plena carga (%) |
| <b>Cabine de medição do circuito 1</b>                                 |           |                  |                             |             |             |                 |
| 1 - 2  | 450       |                  |                             |             |             |                 |
| 1 - 3  | 451       | 451,67           | 0,5                         | 7           | 1           | 3               |
| 2 - 3  | 454       |                  |                             |             |             |                 |
| <b>Cabine de medição do circuito 2</b>                                 |           |                  |                             |             |             |                 |
| 1 - 2  | 448       |                  |                             |             |             |                 |
| 1 - 3  | 452       | 450,00           | 0,4                         | 6           | 1           | 3               |
| 2 - 3  | 450       |                  |                             |             |             |                 |
| <b>Cabine de medição do circuito 3</b>                                 |           |                  |                             |             |             |                 |
| 1 - 2  | 449       |                  |                             |             |             |                 |
| 1 - 3  | 450       | 450,00           | 0,2                         | 2           | 0           | 1               |
| 2 - 3  | 451       |                  |                             |             |             |                 |
| <b>Cabine de medição do circuito 4</b>                                 |           |                  |                             |             |             |                 |
| 1 - 2  | 450       |                  |                             |             |             |                 |
| 1 - 3  | 448       | 449,33           | 0,1                         | 1           | 0           | 1               |
| 2 - 3  | 450       |                  |                             |             |             |                 |

MIT\* - motor de indução trifásico.

De acordo com o Quadro 3.24, o nível de desequilíbrio de tensão encontrado na rede fornecida pela concessionária de energia elétrica variou de 0,1 a 0,5%. Este nível de desequilíbrio de tensão, da mesma forma que a unidade armazenadora de Ituverava, está perfeitamente dentro da lei, segundo a qual o desequilíbrio máximo é de 1%.

A influência deste desequilíbrio de tensão nas correntes trifásicas de um motor de indução trifásico pode variar de 1 a 7% na corrente a vazio dos motores elétricos, no máximo 1% na corrente de partida e de 1 a 3% em plena carga. Estes valores são pouco significativos para a corrente dos motores elétricos de indução trifásicos, tanto na unidade armazenadora de Ituverava quanto na unidade armazenadora de Guaíra.

#### **Alteração da amplitude de tensão da rede da concessionária de energia elétrica**

Baseado nos dados de tensão medidos na unidade armazenadora, foi possível calcular a alteração na amplitude de tensão, encontrada na rede da concessionária de energia elétrica.

Quadro 3.25. Alteração da amplitude da tensão da rede na unidade armazenadora de Ituverava

| Unidade armazenadora de Ituverava  |           |                    |                            |                |          |              |                |
|--|-----------|--------------------|----------------------------|----------------|----------|--------------|----------------|
| Influência da alteração da amplitude da tensão da rede no desempenho do MIT* |           |                    |                            |                |          |              |                |
| Fases  | Valor (V) | Tensão nominal (V) | Alteração da amplitude (%) | Rendimento (%) | fp** (%) | Corrente (%) | Velocidade (%) |
| Painel de comando e proteção 1   |           |                    |                            |                |          |              |                |
| 1 - 2  | 392       |                    | 3,2                        | 0,3            | 2        | 1            | 0              |
| 1 - 3  | 393,2     | 380                | 3,5                        | 0,3            | 2        | 1            | 0              |
| 2 - 3  | 389,8     |                    | 2,6                        | 0              | 1,9      | 0,6          | 0              |
| Painel de comando e proteção 2   |           |                    |                            |                |          |              |                |
| 1 - 2  | 389,1     |                    | 2,4                        | 0              | 1,9      | 0,6          | 0              |
| 1 - 3  | 390,2     | 380                | 2,7                        | 0              | 1,9      | 0,6          | 0              |
| 2 - 3  | 393,2     |                    | 3,5                        | 0,3            | 2        | 1            | 0              |

MIT\* - motor elétrico de indução trifásico

fp\*\* - fator de potência

De acordo com o Quadro 3.25, a alteração na amplitude de tensão da rede da concessionária de energia elétrica variou de 2,4 a 3,5%. Este nível de alteração na amplitude da tensão está perfeitamente dentro da lei, segundo a qual a alteração máxima é de  $\pm 10\%$ .

O efeito que esta alteração na amplitude de tensão da rede da concessionária de energia pode causar nos motores elétricos de indução trifásicos, na situação dos dados amostrais são: (i) uma diminuição máxima de até 0,3 % no rendimento dos motores elétricos; (ii) diminuição máxima do fator de potência de até 2%; (iii) variação de 0,6 a 1% no valor das correntes elétricas; e (iv) nenhuma influência na rotação.

De acordo com estes valores de alteração na amplitude de tensão da rede da concessionária de energia elétrica, não houve influência significativa no desempenho dos motores elétricos devido à alteração da amplitude da tensão da rede da concessionária de energia elétrica.

Na unidade armazenadora de Guaíra, foram verificados os efeitos da alteração na amplitude de tensão na rede da concessionária de energia elétrica. O Quadro 3.26 apresenta a influência da amplitude de tensão da rede nos motores de indução trifásicos.

Quadro 3.26. Efeito da alteração da amplitude da tensão da rede nos motores de indução trifásicos da unidade armazenadora de Guaíra

| Unidade armazenadora de Guaíra   |           |                    |                            |                |          |              |                |
|--|-----------|--------------------|----------------------------|----------------|----------|--------------|----------------|
| Influência da alteração da amplitude da tensão da rede no desempenho do MIT* |           |                    |                            |                |          |              |                |
| Fases  | Valor (V) | Tensão nominal (V) | Alteração da amplitude (%) | Rendimento (%) | fp** (%) | Corrente (%) | Velocidade (%) |
| Cabine de medição do circuito 1  |           |                    |                            |                |          |              |                |
| 1 - 2  | 450       |                    | 2,3                        | 0              | 1,9      | 0,6          | 0              |
| 1 - 3  | 451       | 440,00             | 2,5                        | 0              | 1,9      | 0,6          | 0              |
| 2 - 3  | 454       |                    | 3,2                        | 0,3            | 2        | 1            | 0              |
| Cabine de medição do circuito 2  |           |                    |                            |                |          |              |                |
| 1 - 2  | 448       |                    | 1,8                        | 0              | 1,7      | 0,5          | 0              |
| 1 - 3  | 452       | 440                | 2,7                        | 0              | 1,9      | 0,6          | 0              |
| 2 - 3  | 450       |                    | 2,3                        | 0              | 1,8      | 0,6          | 0              |
| Cabine de medição do circuito 3  |           |                    |                            |                |          |              |                |
| 1 - 2  | 449       |                    | 2,0                        | 0              | 1,7      | 0,5          | 0              |
| 1 - 3  | 450       | 440                | 2,3                        | 0              | 1,8      | 0,6          | 0              |
| 2 - 3  | 451       |                    | 2,5                        | 0              | 1,9      | 0,6          | 0              |
| Cabine de medição do circuito 4  |           |                    |                            |                |          |              |                |
| 1 - 2  | 450       |                    | 2,3                        | 0              | 1,8      | 0,6          | 0              |
| 1 - 3  | 448       | 440                | 1,8                        | 0              | 1,7      | 0,5          | 0              |
| 2 - 3  | 450       |                    | 2,3                        | 0              | 1,8      | 0,6          | 0              |

MIT\* - motor elétrico de indução trifásico

fp\*\* - fator de potência

De acordo com o Quadro 3.26, a alteração na amplitude de tensão da rede da concessionária de energia elétrica variou de 1,8 a 3,2%. Este nível de alteração na amplitude de tensão está perfeitamente dentro da lei, que cuja tolerância máxima para alteração é de  $\pm 10\%$ .

Os efeitos que esta alteração na amplitude de tensão da rede da concessionária de energia pode causar nos motores elétricos de indução trifásicos, na situação dos dados amostrais são: (i) uma diminuição máxima de até 0,3 % no rendimento dos motores elétricos; (ii) diminuição máxima no fator de potência de até 2%; (iii) variação de 0,5 a 1% no valor das correntes elétricas; e (iv) nenhuma influência na rotação.

De acordo com estes valores na alteração de amplitude da tensão da rede da concessionária de energia elétrica, não houve uma influência significativa no desempenho dos motores elétricos, na unidade armazenadora de Guaíra, assim como na unidade armazenadora de Ituverava. Quando essa alteração é maior que  $\pm 10\%$ , há um grande dano no desempenho dos motores elétricos.

### **Análise do dimensionamento de condutores para motores elétricos considerando a relação entre o aumento da seção do condutor e a queda de tensão admissível**

De acordo com os dados de entrada, do Quadro 3.27 pode-se fazer a análise de vida útil, adotando-se os índices econômicos valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) para o estudo do dimensionamento de condutores para motores elétricos considerando a relação entre o aumento da seção do condutor e a queda de tensão admissível.

Os valores de variação no rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador considerados foram 1, 2, 3, 4 e 5%. Esses valores são plausíveis pelo fato de além de ser admissível pela norma uma queda de tensão de até 7% (função da forma de instalação), isto é, motor ligado diretamente ao transformador, as concessionárias de energia elétrica podem fornecer tensão com flutuação dentro de limites aprovados pela norma. O somatório destes dois efeitos pode alcançar uma variação de tensão de cerca de 12%. Segundo o Quadro 3.14 uma queda de tensão de 12% pode causar cerca de 3% de variação no rendimento do motor elétrico.

Quadro 3.27. Dados para realização da análise econômica de vida útil para condutores de alimentação de motores elétricos trifásicos

| Ítem  | Valor                      | Unidade               |
|---|----------------------------|-----------------------|
| Vida útil   | 20*                        | ano                   |
| Taxa de juros   | 12*                        | % ao ano              |
| Potência nominal dos motores elétricos  | 0,736, 7,36 e 36,8         | kW                    |
| Rendimento nominal dos motores elétricos, respectivamente                               | 78, 89 e 91,7              | %                     |
| Valor da tarifa de energia elétrica   | 0,60                       | R\$ kWh <sup>-1</sup> |
| Número de horas de funcionamento anual do motor elétrico                                | 3960*                      | h ano <sup>-1</sup>   |
| Variação de preço entre condutores de bitolas diferentes                                | 30*                        | %                     |
| Variação de rendimento entre condutores de bitolas diferentes                           | 1*                         | %                     |
| Variação do comprimento dos condutores  | de 50* a 13550             | m                     |
| Variação de preço entre os condutores de energia elétrica                               | 10, 20, 30*, 40, 50 e 60   | %                     |
| Aumento no preço da tarifa de energia elétrica  | 0*, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 | %                     |
| Variação no rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador | 1*, 2, 3, 4, e 5           | %                     |

\* - Valores adotados no caso base

De posse dos dados do Quadro 3.27, pode-se fazer simulações envolvendo a variação do comprimento dos condutores com a variação de preço entre os condutores

de energia elétrica (quadros 3.28, 3.29 e 3.30), a variação do comprimento dos condutores com o aumento no preço da tarifa de energia elétrica (quadros 3.31, 3.32 e 3.33) e a variação do comprimento dos condutores com o aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador (quadros 3.34, 3.35 e 3.36) para os motores de 0,736, 7,36 e 36,8 kW (1, 10 e 50 cv), respectivamente.

Os Quadros 3.28, 3.29 e 3.30 apresentam a variação do comprimento dos condutores com a variação de preço entre os condutores de energia elétrica, a variação do comprimento dos condutores com o aumento no preço da tarifa de energia elétrica e a variação do comprimento dos condutores com o aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador, para motores elétricos, com potência entre 0,736 e 7,36 kW (1 e 10 cv).

Quadro 3.28. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores e a variação de preço entre os condutores de energia elétrica

| Distância<br>(m) | Variação de preço do condutor (R\$ m <sup>-1</sup> ) |                     |                      |
|------------------|--|---------------------|----------------------|
|                  | 10%  | 20%                 | 30%                  |
| 50               | R\$ 166,48 / 57,08%                                  | R\$ 115,48 / 28,35% | (R\$ 241,52) / 2,38% |
| 150              | R\$ 64,48 / 18,38%                                   | (R\$ 88,52) / 7,10% | -                    |
| 250              | (R\$ 37,52) / 9,59%                                  | -                   | -                    |

\* - Os valores monetários entre parêntesis são negativos

De acordo com o Quadro 3.28 observa-se que há viabilidade econômica desta substituição quando: (i) a variação de preço do condutor for menor que 10% e o comprimento do condutor for menor que 250 m; (ii) a variação de preço do condutor for menor que 20% e o comprimento do condutor for menor que 150 m; e (iii) a variação de preço do condutor for menor que 30% e o comprimento do condutor for menor que 50 m.

Quadro 3.29. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do preço da tarifa de energia elétrica

| Distância<br>(m) | Aumento no preço da tarifa de energia elétrica (R\$ kWh <sup>-1</sup> ) |                         |                         |                         |                         |                         |
|------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                  | 5%  | 10%                     | 15%                     | 20%                     | 25%                     | 30%                     |
| 50               | R\$ 75,36 /<br>19,41%   | R\$ 86,23 /<br>20,42%   | R\$ 97,11 /<br>21,43%   | R\$ 107,98 /<br>22,43%  | R\$ 118,85 /<br>23,44%  | R\$ 129,73 /<br>24,43%  |
| 150              | (R\$ 230,64) /<br>2,90%   | (R\$ 219,77) /<br>3,41% | (R\$ 208,89) /<br>3,90% | (R\$ 198,02) /<br>4,39% | (R\$ 187,15) /<br>4,86% | (R\$ 176,27) /<br>5,32% |

De acordo com o Quadro 3.29 observa-se que há viabilidade econômica desta substituição quando o aumento da tarifa de energia elétrica for menor que 30% e o comprimento do condutor for menor que 150 m.

Quadro 3.30. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador

| Distância<br>(m) | Variação do rendimento pelo aumento da bitola do condutor (%) |                         |                        |                         |                         |
|------------------|---|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                  | 1   | 2                       | 3                      | 4                       | 5                       |
| 50               | R\$ 64,48 /<br>18,40%   | R\$ 287,68 /<br>38,50%  | R\$ 516,85 /<br>58,61% | R\$ 752,20 /<br>79,20%  | R\$ 994,00 /<br>100,37% |
| 150              | (R\$ 241,52) /<br>2,38%                                       | (R\$ 18,31) /<br>11,36% | R\$ 210,85 /<br>18,93% | R\$ 446,20 /<br>26,15%  | R\$ 688,00 /<br>33,35%  |
| 250              | -   | -                       | (R\$ 95,15) /<br>9,97% | R\$ 140,20 /<br>14,85%  | R\$ 382,00 /<br>19,50%  |
| 350              | -   | -                       | -                      | (R\$ 165,80) /<br>9,46% | R\$ 76,00 /<br>13,12%   |
| 450              | -   | -                       | -                      | -                       | (R\$ 230,00) /<br>9,25% |

De acordo com o Quadro 3.30 observa-se que há viabilidade econômica desta substituição quando: (i) o ganho de rendimento do motor elétrico for igual a 1% ou 2%, e o comprimento do condutor alimentador for, inferior, a 150 m; (ii) o ganho de rendimento do motor elétrico for igual a 3%, e o comprimento do condutor alimentador for, inferior, a 250 m; (iii) o ganho de rendimento do motor elétrico for igual a 4, e o comprimento do condutor alimentador for, inferior, a 350 m; e (iv) o ganho de rendimento do motor elétrico for igual a 5%, e o comprimento do condutor alimentador for, inferior, a 450 m.

Os Quadros 3.31, 3.32 e 3.33 apresentam a variação do comprimento dos condutores com a variação de preço entre os condutores de energia elétrica, a variação do comprimento dos condutores com o aumento no preço da tarifa de energia elétrica e a variação do comprimento dos condutores com o aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador para motores elétricos, com potência entre 7,36 e 36,8 kW (10 e 50 cv).

Quadro 3.31. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores e a variação de preço entre os condutores de energia elétrica

| Distância<br>(m) | Variação de preço do condutor (R\$ m <sup>-1</sup> ) |                          |                          |                          |                         |                         |
|------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                  | 10%  | 20%                      | 30%                      | 40%                      | 50%                     | 60%                     |
| 50               | R\$ 1616,78 /<br>437,81%                             | R\$ 1565,78 /<br>218,90% | R\$ 1514,78 /<br>145,93% | R\$ 1463,78 /<br>109,45% | R\$ 1412,78 /<br>87,56% | R\$ 1361,78 /<br>72,97% |
| 150              | R\$ 1514,78 /<br>149,94%                             | R\$ 1361,78 /<br>72,97%  | R\$ 1208,78 /<br>48,63%  | R\$ 1055,78 /<br>36,41%  | R\$ 902,78 /<br>29,00%  | R\$ 749,78 /<br>24,00%  |
| 250              | R\$ 1412,78 /<br>87,56%                              | R\$ 1157,78 /<br>43,75%  | R\$ 902,78 /<br>29,00%   | R\$ 647,78 /<br>21,44%   | R\$ 392,78 /<br>16,72%  | R\$ 137,78 /<br>13,42%  |
| 350              | R\$ 1310,78 /<br>62,54%                              | R\$ 953,78 /<br>31,13%   | R\$ 596,78 /<br>20,33%   | R\$ 239,78 /<br>14,61%   | (R\$ 117,22) /<br>10,94 | (R\$ 474,22) /<br>8,31% |
| 450              | R\$ 1208,78 /<br>48,63%                              | R\$ 749,78 /<br>24,00%   | R\$ 290,78 /<br>15,27%   | (R\$ 168,22) /<br>10,51% | -                       | -                       |
| 550              | R\$ 1106,78 /<br>39,75%                              | R\$ 545,78 /<br>19,32%   | (R\$ 15,22) /<br>11,86%  | -                        | -                       | -                       |
| 650              | R\$ 1004,78 /<br>33,57%                              | R\$ 341,78 /<br>15,97%   | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 750              | R\$ 902,078 /<br>29,01%                              | R\$ 137,78 /<br>13,42%   | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 850              | R\$ 800,78 /<br>25,48%                               | (R\$ 66,22) /<br>11,39%  | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 950              | R\$ 698,78 /<br>22,65%                               | -                        | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 1050             | R\$ 596,78 /<br>20,33%                               | -                        | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 1150             | R\$ 494,78 /<br>18,38%                               | -                        | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 1250             | R\$ 392,78 /<br>16,72%                               | -                        | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 1350             | R\$ 290,78 /<br>15,27%                               | -                        | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 1450             | R\$ 188,78 /<br>14,00%                               | -                        | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 1550             | R\$ 86,78 /<br>12,87%                                | -                        | -                        | -                        | -                       | -                       |
| 1650             | (R\$ 15,22 /<br>11,86%)                              | -                        | -                        | -                        | -                       | -                       |

De acordo com o Quadro 3.31 observa-se que há viabilidade econômica desta substituição quando: (i) a variação de preço do condutor for menor que 10% e o comprimento do condutor for menor que 1650 m; (ii) a variação de preço do condutor for menor que 20% e o comprimento do condutor for menor que 850 m; (iii) a variação de preço do condutor for menor que 30% e o comprimento do condutor for menor que 550 m; (iv) a variação de preço do condutor for menor que 40% e o comprimento do condutor for menor que 450 m; e (v) a variação de preço do condutor for menor que 60% e o comprimento do condutor for menor que 350 m.

Quadro 3.32. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do preço da tarifa de energia elétrica

| Distância<br>(m) | Aumento do preço da tarifa de energia elétrica (R\$ kWh <sup>-1</sup> ) |                          |                          |                          |                          |                          |
|------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                  | 5%  | 10%                      | 15%                      | 20%                      | 25%                      | 30%                      |
| 50               | R\$ 1598,17 /<br>153,23%  | R\$ 1681,56 /<br>160,53% | R\$ 1764,95 /<br>167,83% | R\$ 1848,34 /<br>175,12% | R\$ 1931,72 /<br>182,42% | R\$ 2015,12 /<br>189,72% |
| 150              | R\$ 1292,17 /<br>51,06%   | R\$ 1375,56 /<br>53,50%  | R\$ 1458,95 /<br>55,93%  | R\$ 1542,34 /<br>58,37%  | R\$ 1625,73 /<br>60,80%  | R\$ 1709,12 /<br>63,24%  |
| 250              | R\$ 986,17 /<br>30,50%  | R\$ 1069,56 /<br>31,98%  | R\$ 1152,95 /<br>33,46%  | R\$ 1236,34 /<br>34,94%  | R\$ 1319,73 /<br>36,41%  | R\$ 1403,12 /<br>37,88%  |
| 350              | R\$ 680,17 /<br>21,44%  | R\$ 763,56 /<br>22,54%   | R\$ 846,95 /<br>23,63%   | R\$ 930,34 /<br>24,72%   | R\$ 1013,73 /<br>25,80%  | R\$ 1097,12 /<br>26,87%  |
| 450              | R\$ 374,17 /<br>16,18%  | R\$ 457,56 /<br>17,10%   | R\$ 540,95 /<br>17,96%   | R\$ 624,34 /<br>18,84%   | R\$ 707,73 /<br>19,71%   | R\$ 791,12 /<br>20,58%   |
| 550              | R\$ 68,17 /<br>12,64%   | R\$ 151,56 /<br>13,42%   | R\$ 234,95 /<br>14,18%   | R\$ 318,34 /<br>14,94%   | R\$ 401,73 /<br>15,68%   | R\$ 485,12 /<br>16,42%   |
| 650              | (R\$237,83) /<br>10,01%   | (R\$ 154,44) /<br>10,74% | (R\$ 71,05%) /<br>11,43% | R\$ 12,34 /<br>12,10%    | R\$ 95,73 /<br>12,76%    | R\$ 179,12 /<br>13,42%   |
| 750              | -   | -                        | -                        | (R\$ 293,66) /<br>9,91%  | (R\$ 210,27) /<br>10,51  | (R\$ 126,88) /<br>11,11% |

De acordo com o Quadro 3.32 observa-se que há viabilidade econômica desta substituição quando: (i) o aumento da tarifa de energia elétrica for menor que 15% e o comprimento do condutor for menor que 650 m; e (ii) o aumento da tarifa de energia elétrica for entre 20% ou 30% e o comprimento do condutor for menor que 750 m.

Quadro 3.33. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador (Continua)

| Distância<br>(m) | Variação do rendimento pelo aumento da bitola do condutor (%) |                          |                          |                          |                          |
|------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                  | 1   | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |
| 50               | R\$ 1514,78 /<br>145,94%                                      | R\$ 3220,91 /<br>295,23% | R\$ 4966,71 /<br>447,99% | R\$ 3753,59 /<br>604,34% | R\$ 8583,01 /<br>764,42% |
| 150              | R\$ 1208,78 /<br>48,63%                                       | R\$ 2914,91 /<br>98,41%  | R\$ 4660,71 /<br>149,33% | R\$ 6447,59 /<br>201,45% | R\$ 8277,01 /<br>254,81% |
| 250              | R\$ 902,78 /<br>29,00%  | R\$ 2608,91 /<br>59,04%  | R\$ 4354,71 /<br>89,60%  | R\$ 6141,59 /<br>120,87% | R\$ 7971,01 /<br>152,88% |
| 350              | R\$ 596,78 /<br>20,33%  | R\$ 2302,91 /<br>42,14%  | R\$ 4048,71 /<br>64,00%  | R\$ 5835,59 /<br>86,33%  | R\$ 7665,01 /<br>109,20% |
| 450              | R\$ 290,78 /<br>15,27%  | R\$ 1996,91 /<br>32,69%  | R\$ 3742,71 /<br>49,76%  | R\$ 5529,59 /<br>67,15%  | R\$ 7359,01 /<br>84,94%  |
| 550              | (R\$ 15,22) /<br>11,86%                                       | R\$ 1690,91 /<br>23,60%  | R\$ 3436,71 /<br>40,68%  | R\$ 5223,59 /<br>54,93%  | R\$ 7053,01 /<br>69,49%  |

Quadro 3.33. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador (Continuação)

|      |   |                          |                          |                          |                          |
|------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 650  | - | R\$ 1384,91 /<br>22,30%  | R\$ 3130,71 /<br>34,37%  | R\$ 4917,59 /<br>46,47%  | R\$ 6747,01 /<br>58,80%  |
| 750  | - | R\$ 1078,91 /<br>19,10%  | R\$ 2824,71 /<br>29,70%  | R\$ 4611,59 /<br>40,24%  | R\$ 6441,01 /<br>50,95%  |
| 850  | - | R\$ 772,91 /<br>16,56%   | R\$ 2518,71 /<br>26,10%  | R\$ 4305,59 /<br>35,47%  | R\$ 6135,01 /<br>44,94%  |
| 950  | - | R\$ 466,91 /<br>14,50%   | R\$ 2212,71 /<br>23,22%  | R\$ 3999,59 /<br>31,68%  | R\$ 5829,01 /<br>40,19%  |
| 1050 | - | R\$ 160,91 /<br>12,79%   | R\$ 1906,71 /<br>20,85%  | R\$ 3693,59 /<br>28,59%  | R\$ 5523,01 /<br>36,33%  |
| 1150 | - | (R\$ 145,09) /<br>11,34% | R\$ 1600,71 /<br>18,86%  | R\$ 3387,59 /<br>26,02%  | R\$ 5217,01 /<br>33,13%  |
| 1250 | - | -                        | R\$ 1294,71 /<br>17,17%  | R\$ 3081,59 /<br>23,84%  | R\$ 4911,01 /<br>30,43%  |
| 1350 | - | -                        | R\$ 988,71 /<br>15,69%   | R\$ 2775,59 /<br>21,96%  | R\$ 4605,01 /<br>28,11%  |
| 1450 | - | -                        | R\$ 682,71 /<br>14,40%   | R\$ 2469,59 /<br>20,32%  | R\$ 4299,01 /<br>26,10%  |
| 1550 | - | -                        | R\$ 376,71 /<br>13,25%   | R\$ 2163,59 /<br>18,88%  | R\$ 3993,01 /<br>24,34%  |
| 1650 | - | -                        | R\$ 70,71 / 12,22%       | R\$ 1857,59 /<br>17,60%  | R\$ 3687,01 /<br>22,78%  |
| 1750 | - | -                        | (R\$ 235,29) /<br>11,29% | R\$ 1551,59 /<br>16,45%  | R\$ 3381,01 /<br>21,39%  |
| 1850 | - | -                        | -                        | R\$ 1245,59 /<br>15,50%  | R\$ 3075,01 /<br>20,13%  |
| 1950 | - | -                        | -                        | R\$ 939,59 /<br>14,45%   | R\$ 2769,01 /<br>19,00%  |
| 2050 | - | -                        | -                        | R\$ 633,59 /<br>13,59%   | R\$ 2463,01 /<br>17,96%  |
| 2150 | - | -                        | -                        | R\$ 327,59 /<br>12,79%   | R\$ 2157,01 /<br>17,01%  |
| 2250 | - | -                        | -                        | R\$ 21,59 /<br>12,05%    | R\$ 1851,01 /<br>16,13%  |
| 2350 | - | -                        | -                        | (R\$ 284,41) /<br>11,36% | R\$ 1545,01 /<br>15,33%  |
| 2450 | - | -                        | -                        | -                        | R\$ 1239,01 /<br>14,57%  |
| 2550 | - | -                        | -                        | -                        | R\$ 933,01 /<br>13,87%   |
| 2650 | - | -                        | -                        | -                        | R\$ 627,01 /<br>13,22%   |
| 2750 | - | -                        | -                        | -                        | R\$ 321,01 /<br>12,60%   |
| 2850 | - | -                        | -                        | -                        | R\$ 15,01 / 12,03%       |
| 2950 | - | -                        | -                        | -                        | (R\$ 290,99) /<br>11,48% |

De acordo com o Quadro 3.33 observa-se que há viabilidade econômica desta substituição quando: (i) o ganho de rendimento do motor elétrico for igual a 1%, e o comprimento do condutor alimentador for, inferior, a 550 m; (ii) o ganho de rendimento

do motor elétrico for igual a 2%, e o comprimento do condutor alimentador for, inferior, a 1150 m; (iii) o ganho de rendimento do motor elétrico for igual a 3%, e o comprimento do condutor alimentador for, inferior, a 1750 m; (iv) o ganho de rendimento do motor elétrico for igual a 4%, e o comprimento do condutor alimentador for, inferior, a 2350 m; e (v) o ganho de rendimento do motor elétrico for igual a 5%, e o comprimento do condutor alimentador for, inferior, a 2950 m.

Os Quadros 3.34, 3.35 e 3.36 apresentam a variação do comprimento dos condutores com a variação de preço entre os condutores de energia elétrica, a variação do comprimento dos condutores com o aumento no preço da tarifa de energia elétrica e a variação do comprimento dos condutores com o aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador para motores elétricos, com potência acima de 36,8 kW (50 cv).

Quadro 3.34. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores e a variação de preço entre os condutores de energia elétrica

| Distância<br>(m) | Variação de preço do condutor (R\$ m <sup>-1</sup> ) |                           |                          |                          |                          |                          |
|------------------|--|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                  | 10%  | 20%                       | 30%                      | 40%                      | 50%                      | 60%                      |
| 50               | R\$ 7801,46 /<br>2061,33%                            | R\$ 7750,46 /<br>1030,67% | R\$ 7699,46 /<br>687,11% | R\$ 7648,46 /<br>515,33% | R\$ 7597,46 /<br>412,27% | R\$ 7546,46 /<br>343,55% |
| 550              | R\$ 7291,46 /<br>187,39%                             | R\$ 6730,46 /<br>93,70%   | R\$ 6169,46 /<br>62,46%  | R\$ 5608,46 /<br>46,83%  | R\$ 5047,46 /<br>37,41%  | R\$ 4486,46 /<br>31,09%  |
| 1050             | R\$ 6781,46 /<br>98,16%                              | R\$ 5710,46 /<br>49,06%   | R\$ 4639,46 /<br>32,60%  | R\$ 3568,46 /<br>24,22%  | R\$ 2497,46 /<br>19,03%  | R\$ 1426,46 /<br>15,43%  |
| 1550             | R\$ 6271,46 /<br>66,49%                              | R\$ 4690,45 /<br>33,14%   | R\$ 3109,46 /<br>21,73%  | R\$ 1528,46 /<br>15,73%  | (R\$ 52,54) /<br>11,89   | (R\$ 1633,54) /<br>9,16% |
| 2050             | R\$ 5761,46 /<br>50,26%                              | R\$ 3670,46 /<br>24,84%   | R\$ 1579,46 /<br>15,88%  | (R\$511,54) /<br>11,01%  | -                        | -                        |
| 2550             | R\$ 5251,46 /<br>40,37%                              | R\$ 2650,46 /<br>19,65%   | R\$ 49,46 /<br>12,10%    | -                        | -                        | -                        |
| 3050             | R\$ 4741,46 /<br>33,69%                              | R\$ 1630,46 /<br>16,03%   | (R\$ 1480,54) /<br>9,39% | -                        | -                        | -                        |
| 3550             | R\$ 4231,46 /<br>28,85%                              | R\$ 610,46 /<br>13,33%    | -                        | -                        | -                        | -                        |
| 4050             | R\$ 3721,46 /<br>25,16%                              | (R\$ 409,54) /<br>11,20%  | -                        | -                        | -                        | -                        |
| 4550             | R\$ 3211,46 /<br>22,24%                              | -                         | -                        | -                        | -                        | -                        |
| 5050             | R\$ 2701,46 /<br>19,86%                              | -                         | -                        | -                        | -                        | -                        |
| 5550             | R\$ 2191,46 /<br>17,88%                              | -                         | -                        | -                        | -                        | -                        |
| 6050             | R\$ 1681,46 /<br>16,18%                              | -                         | -                        | -                        | -                        | -                        |
| 6550             | R\$ 1171,46 /<br>14,73%                              | -                         | -                        | -                        | -                        | -                        |
| 7050             | R\$ 661,46 /<br>13,45%                               | -                         | -                        | -                        | -                        | -                        |
| 7550             | R\$ 151,56 /<br>12,31%                               | -                         | -                        | -                        | -                        | -                        |
| 8050             | (R\$ 358,54) /<br>11,30%                             | -                         | -                        | -                        | -                        | -                        |

De acordo com o Quadro 3.34 observa-se que há viabilidade econômica desta substituição quando: (i) a variação de preço do condutor for menor que 10% e o comprimento do condutor for menor que 8050 m; (ii) a variação de preço do condutor for menor que 20% e o comprimento do condutor for menor que 4050 m; (iii) a variação de preço do condutor for menor que 30% e o comprimento do condutor for menor que 3050 m; (iv) a variação de preço do condutor for menor que 40% e o comprimento do condutor for menor que 2050 m; e (v) a variação de preço do condutor for menor que 60% e o comprimento do condutor for menor que 1150 m.

Quadro 3.35. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do preço da tarifa de energia elétrica

| Distância<br>(m) | Aumento do preço da tarifa de energia elétrica (R\$ kWh <sup>-1</sup> ) |                          |                          |                          |                           |                           |
|------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                  | 5%  | 10%                      | 15%                      | 20%                      | 25%                       | 30%                       |
| 50               | R\$ 8092,09 /<br>721,47%  | R\$ 8484,71 /<br>755,82% | R\$ 8877,33 /<br>790,18% | R\$ 9269,96 /<br>824,53% | R\$ 9962,58 /<br>858,88%  | R\$ 10055,20 /<br>893,24% |
| 550              | R\$ 6562,09 /<br>65,59%   | R\$ 6954,71 /<br>68,71%  | R\$ 7347,33 /<br>71,83%  | R\$ 7739,96 /<br>74,96%  | R\$ 8132,58 /<br>78,08%   | R\$ 8525,20 /<br>81,20%   |
| 1050             | R\$ 5032,09 /<br>34,26%   | R\$ 5424,71 /<br>35,91%  | R\$ 5817,33 /<br>37,56%  | R\$ 6209,96 /<br>39,21%  | R\$ 6602,58 /<br>40,86%   | R\$ 6995,20 /<br>42,50%   |
| 1550             | R\$ 3502,09 /<br>22,90%   | R\$ 3894,71 /<br>24,05%  | R\$ 4287,33 /<br>25,21%  | R\$ 4679,96 /<br>26,35%  | R\$ 5072,58 /<br>27,49%   | R\$ 5465,20 /<br>28,63%   |
| 2050             | R\$ 1972,09 /<br>16,81%   | R\$ 2634,71 /<br>17,73%  | R\$ 2757,33 /<br>18,64%  | R\$ 3149,96 /<br>19,54%  | R\$ 3542,58 /<br>20,44%   | R\$ 3935,20 /<br>21,33%   |
| 2550             | R\$ 442,09 /<br>12,90%  | R\$ 834,71 /<br>13,68%   | R\$ 1227,33 /<br>14,45%  | R\$ 1619,96 /<br>15,22%  | R\$ 2012,58 /<br>15,97%   | R\$ 2405,20 /<br>16,72%   |
| 3050             | (R\$ 1087,91) /<br>10,10%   | (R\$ 695,29) /<br>10,80% | (R\$ 302,67) /<br>11,48% | R\$ 89,96 /<br>12,15%    | R\$ 482,58 /<br>12,82%    | R\$ 875,20 /<br>13,47%    |
| 3550             | -   | -                        | -                        | (R\$ 1440,04) /<br>9,83% | (R\$ 1047,42) /<br>10,44% | (R\$ 654,80) /<br>11,03%  |

De acordo com o Quadro 3.35 observa-se que há viabilidade econômica desta substituição quando: (i) o aumento da tarifa de energia elétrica for menor que 15% e o comprimento do condutor for menor que 3050 m; e (ii) o aumento da tarifa de energia elétrica for entre 20% e 30% e o comprimento do condutor for menor que 3550 m.

Quadro 3.36. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador (Continua)

| Distância<br>(m) | Variação do rendimento pelo aumento da bitola do condutor (%) |                            |                            |                            |                            |
|------------------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                  | 1   | 2                          | 3                          | 4                          | 5                          |
| 50               | R\$ 7699,46 /<br>687,11%                                      | R\$ 15727,01 /<br>1389,54% | R\$ 23935,56 /<br>2107,81% | R\$ 32331,30 /<br>2842,46% | R\$ 40920,72 /<br>3594,05% |
| 550              | R\$ 6169,46 /<br>62,46%                                       | R\$ 14197,01 /<br>126,32%  | R\$ 22405,56 /<br>191,62%  | R\$ 30801,30 /<br>258,41%  | R\$ 39390,72 /<br>326,73%  |
| 1050             | R\$ 4639,46 /<br>32,60%                                       | R\$ 12667,01 /<br>66,17%   | R\$ 20875,56 /<br>100,37%  | R\$ 29271,30 /<br>135,36%  | R\$ 37860,72 /<br>171,15%  |
| 1550             | R\$ 3109,46 /<br>21,73%                                       | R\$ 11137,01 /<br>44,80%   | R\$ 19345,56 /<br>68,00%   | R\$ 27741,30 /<br>91,69%   | R\$ 36330,72 /<br>115,94%  |
| 2050             | R\$ 1579,46 /<br>15,88%                                       | R\$ 9607,01 /<br>33,79%    | R\$ 17815,56 /<br>51,40%   | R\$ 26211,30 /<br>69,33%   | R\$ 34800,72 /<br>87,66%   |
| 2550             | R\$ 49,46 /<br>12,10%   | R\$ 8077,01 /<br>27,02%    | R\$ 16285,56 /<br>41,29%   | R\$ 24681,30 /<br>55,73%   | R\$ 33270,72 /<br>70,47%   |
| 3050             | (R\$ 1480,54) /<br>9,39%                                      | R\$ 6547,01 /<br>22,38%    | R\$ 14755,56 /<br>34,46%   | R\$ 23151,30 /<br>46,58%   | R\$ 31740,72 /<br>58,91%   |
| 3550             | -   | R\$ 5017,01 /<br>18,96%    | R\$ 13225,56 /<br>29,52%   | R\$ 21621,30 /<br>40,00%   | R\$ 30210,72 /<br>50,61%   |
| 4050             | -   | R\$ 3487,01 /<br>16,32%    | R\$ 11695,56 /<br>25,76%   | R\$ 20091,30 /<br>35,01%   | R\$ 28680,72 /<br>44,34%   |
| 4550             | -   | R\$ 1957,01 /<br>14,20%    | R\$ 10165,56 /<br>22,78%   | R\$ 18561,30 /<br>31,10%   | R\$ 27150,72 /<br>39,44%   |
| 5050             | -   | R\$ 427,01 /<br>12,44%     | R\$ 8635,56 /<br>20,36%    | R\$ 17031,30 /<br>27,94%   | R\$ 25620,72 /<br>35,50%   |
| 5550             | -   | (R\$ 1103,00) /<br>10,95%  | R\$ 7105,56 /<br>18,33%    | R\$ 15501,30 /<br>25,33%   | R\$ 24090,72 /<br>32,26%   |
| 6050             | -   | -                          | R\$ 5575,56 /<br>16,61%    | R\$ 13971,30 /<br>23,13%   | R\$ 22560,72 /<br>29,54%   |
| 6550             | -   | -                          | R\$ 4045,56 /<br>15,13%    | R\$ 12441,30 /<br>21,24%   | R\$ 21030,72 /<br>27,21%   |
| 7050             | -   | -                          | R\$ 2515,56 /<br>13,83%    | R\$ 10911,30 /<br>19,60%   | R\$ 19500,72 /<br>25,21%   |
| 7550             | -   | -                          | R\$ 985,56 /<br>12,68%     | R\$ 9381,30 /<br>18,15%    | R\$ 17970,72 /<br>23,44%   |
| 8050             | -   | -                          | (R\$ 544,44) /<br>11,65%   | R\$ 7851,30 /<br>16,87%    | R\$ 16440,72 /<br>21,90%   |
| 8550             | -   | -                          | -                          | R\$ 6321,30 /<br>15,73%    | R\$ 14910,72 /<br>20,51%   |
| 9050             | -   | -                          | -                          | R\$ 4791,30 /<br>14,69%    | R\$ 13380,72 /<br>19,27%   |
| 9550             | -   | -                          | -                          | R\$ 3261,30 /<br>13,75%    | R\$ 11850,72 /<br>18,15%   |
| 10050            | -   | -                          | -                          | R\$ 1731,30 /<br>12,89%    | R\$ 10320,72 /<br>17,12    |
| 10550            | -   | -                          | -                          | R\$ 201,30 /<br>12,10%     | R\$ 8790,72 /<br>16,19%    |
| 11050            | -   | -                          | -                          | (R\$ 1328,70) /<br>11,37%  | R\$ 7260,72 /<br>15,32%    |
| 11550            | -   | -                          | -                          | -                          | R\$ 5730,72 /<br>14,53%    |
| 12050            | -   | -                          | -                          | -                          | R\$ 4200,72 /<br>13,79%    |

Quadro 3.36. Valor presente líquido (R\$) e taxa interna de retorno (%) da análise de vida útil entre a variação do comprimento dos condutores com aumento do rendimento do motor elétrico pelo aumento da bitola do condutor alimentador (Continuação)

|       |   |   |   |   |                          |
|-------|---|---|---|---|--------------------------|
| 12550 | - | - | - | - | R\$ 2670,72 /<br>13,10%  |
| 13050 | - | - | - | - | R\$ 1140,72 /<br>12,45%  |
| 13550 | - | - | - | - | (R\$ 389,28) /<br>11,85% |

De acordo com o Quadro 3.36 observa-se que há viabilidade econômica desta substituição quando o ganho de rendimento do motor elétrico for pelo menos igual a 1, 2, 3, 4 e 5% e o comprimento do alimentador for inferior a 3050, 5550, 8050, 11050 e 13550 m, respectivamente.

De uma forma geral, a análise econômica de vida útil do aumento da bitola dos condutores elétricos, como forma de evitar a redução do rendimento dos motores elétricos, é dependente, do ganho de rendimento do motor elétrico, do comprimento do condutor alimentador, do aumento da tarifa de energia elétrica, do preço do condutor de energia elétrica, e da faixa de potência do motor em estudo.

### 3.6. CONCLUSÃO

As principais conclusões deste trabalho são descritas a seguir:

#### **Uso de equipamentos eficientes - adequação de força motriz**

- em ambas as unidades armazenadoras o índice de carregamento dos motores elétricos estavam abaixo dos índices indicados pela literatura técnica especializada, causando desperdício de energia elétrica.
- como exemplo, no estudo de adequação de força motriz utilizando motores eficientes em substituição ao motor existente da fita transportadora (FT 01), todos os índices econômicos no estudo de vida útil indicam a necessidade de substituição imediata do motor elétrico.

#### **Análise da categoria e da classe de isolamento dos motores elétricos**

- nas unidades armazenadoras de Ituverava e Guaíra, verificou-se a existência de motores que estavam em funcionamento com a especificação de conjugado, não recomendada para as funções exercidas por eles no processo produtivo.
- a classe de isolamento de todos os motores em ambas unidades armazenadoras pertenciam à classe B. A repetibilidade da elevação de temperatura em 10°C acima da temperatura máxima suportada pelo motor elétrico pode diminuir sua vida útil.
- segundo a literatura técnica para os ventiladores, é indicada a utilização de motores da categoria N; para os elevadores, devido às características de conjugado desta carga, sugerem-se motores de categoria D e para as fitas

transportadoras, o motor indicado seria da categoria H. A diferença de custo entre os motores não foi analisada.

- Quando um motor com determinada categoria específica é utilizado em outras funções, poderá ocorrer a queima do motor elétrico, por não haver torque suficiente para a carga e o superdimensionamento de motores elétricos serviria apenas para legitimar um erro de escolha da categoria do motor elétrico.

### **Adequação tarifária**

- a demanda de contrato a ser implementada, com base nas informações contidas nas últimas 24 contas de energia elétrica, diferia da demanda contratada para ambas as unidades armazenadoras, sendo que, a adoção da nova demanda de contrato proporcionaria redução significativa nos gastos com energia elétrica
- as demandas de contrato das unidades armazenadoras de Ituverava e Guaira eram, praticamente, semelhantes (340 e 350 kW respectivamente), mesmo possuindo cargas instaladas bem diferentes.

### **Adequação da iluminação**

- a adoção de equipamentos eficientes proporcionou um grande potencial de economia de energia elétrica.
- na análise de vida útil dos equipamentos de iluminação, em ambas as unidades armazenadoras, a substituição dos equipamentos em uso foi indicada, baseando-se nos índices econômicos.
- a revenda de equipamentos antigos ajuda a viabilizar a substituição dos equipamentos velhos por equipamentos novos eficientes.

### **Qualidade de energia (desbalanceamento e nível de tensão)**

- o desequilíbrio de tensão e a amplitude da tensão de rede da concessionária de energia elétrica, em relação à influência da redução de potência no eixo de motores trifásicos da categoria N, desequilíbrio de tensão nas correntes trifásicas de um motor de indução trifásico e à alteração em ambas as unidades armazenadoras não foram significativos. Desta forma, e de acordo com as medições, a qualidade da energia atende as normas de fornecimento de energia elétrica.
- a escolha econômica do condutor para alimentação de motores elétricos deverá atender não somente aos critérios de corrente máxima admissível e queda de tensão, mas, também aos seguintes parâmetros: número de horas de funcionamento anual; comprimento do circuito; potência nominal do motor e fator de serviço e custos unitários de tarifa (consumo e demanda), sendo economicamente viável considerar o decréscimo no rendimento de motores elétricos como um fator auxiliar na decisão de aumentar a bitola do condutor alimentador.

### 3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) - Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Informações gerenciais**. <http://www.conab.gov.br> 2005. Data da consulta: 28/07/2005

BRASIL. Ministério das Minas e Energia (MME). **Balanco energético nacional**. Brasília. 2004. 169 p.

CAMPANA, S. **Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô central e aspersão convencional**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2.000. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

CODI – Comitê de distribuição de energia elétrica. **Energia reativa excedente**. Rio de Janeiro: CEMIG, 2000. 17p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Tarifas horo-sazonais - manual de orientação ao consumidor**. Rio de Janeiro: CEMIG, 1998. 23 p.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA FILHO; D., TEIXEIRA, C. A. **Adequação de força motriz – Estudo de caso na fabricação de papel reciclado**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CONLADIS, 3, 1998. São Paulo. **Resumos...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1998.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1995. 517p.

ELETROBRÁS – Disseminação de informações em eficiência energética. In: **Eficiência energética aplicada para comércio e indústria**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2004. 309p.

ELETROBRÁS - **Guia TÉCNICO – Motor de alto rendimento**. In: Programa de combate ao desperdício de energia elétrica – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 2002. 28p.

ELETROBRÁS - **Guia operacional de motores elétricos**. In: Programa de combate ao desperdício de energia elétrica – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 1998. v.1, 161p.

FRIZZONE, J. A., SILVEIRA, S. de F. R. Avaliação e custos de projetos de irrigação. In: Iº SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA - CEMIG, Uberaba: 2000. **Anais...** s.n. v1, 1-87 p.

LAPPONI, J. C. (ed.), **Avaliação de projetos e investimento: modelos em Excel**. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora Ltda, 1996. 264 p.

LOPES, R. P., AFONSO, A. D. L., SILVA, J. de S. Energia no pré-processamento de produtos agrícolas. In: SILVA, J. de S. e (Ed.). **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. p 191 - 217.

LOPES, D.de C. **Sistema computacional de análise técnica e econômica para adequação de força motriz**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2002. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

RIBEIRO, M. C. **Estudo sobre a racionalização do uso de energia na irrigação**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2003. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

SILVA, J. de S., AFONSO, A. D. L., DONZELLES, S. M. L. Secagem e secadores. In: Silva, J. de S. e (Ed.), **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. p 107 - 137.

TEIXEIRA, C. A. **Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2002. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

WEG, S. A. **Catálogo eletrônico 2000**. Jaraguá do Sul, RS. (<http://www.weg.com.br>), Data da consulta: 01/07/2000.

WEG, S. A. **Catálogo geral de motores elétricos**. Jaraguá do Sul, RS. (<http://www.weg.com.br>) 10/2002.

## **Capítulo 4. SOLUÇÕES ENERGÉTICAS APLICADAS A UNIDADES ARMAZENADORAS**

### **RESUMO**

Embora o insumo hidroeletricidade (eletricidade de fonte hidráulica) seja uma fonte de energia renovável, a industrialização e o crescimento econômico associados às crescentes inovações tecnológicas dos últimos anos, vêm causando aumento substancial tanto na demanda e consumo de energia quanto em impactos ambientais. A falta de investimento no setor energético, aliada ao fato de que recursos naturais são limitados, torna a racionalização do uso de energia elétrica uma ferramenta de apoio imprescindível ao crescimento sustentável do País. Soluções de eficiência energética podem ser adotadas, no sentido de complementar as ações de planejamento do lado da demanda. A geração distribuída em conjunto com a cogeração são opções de gerenciamento do lado do suprimento, que podem e devem ser adotadas em unidades armazenadoras também, pois, as unidades armazenadoras utilizam energia térmica e elétrica, separadamente e poderiam com o mesmo combustível a partir da cogeração produzir energia elétrica e térmica. Assim não somente a secagem de grãos, mas também a energia elétrica de processo seriam supridas, aumentando a eficiência global do sistema de secagem. Objetivando apontar soluções energéticas para tornar as unidades armazenadoras mais independentes, energeticamente, da concessionária de energia elétrica e de oscilações do mercado, realizou-se um estudo na unidade armazenadora de Ituverava, SP da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia

(CAROL). A capacidade de secagem da unidade armazenadora é de  $120 \text{ t h}^{-1}$ . Foram considerados: (i) os padrões de consumo sazonal de energia elétrica, ou seja, consumo no período de safra e safrinha; (ii) diferentes tipos de sistema de cogeração; e (iii) custos de interligação. As principais conclusões deste trabalho foram: (i) o preço de venda da energia excedente no sistema de cogeração influiu, diretamente, na tomada de decisão quanto à implantação de um sistema de cogeração; (ii) a geração de energia elétrica com a produção própria de lenha foi decisiva na lucratividade do projeto de cogeração; (iii) a opção de interligação da rede de energia elétrica favorece a implantação de um sistema de cogeração, porque a unidade armazenadora tem opção de vender o excedente da geração de energia elétrica, para a concessionária de energia elétrica ou, preferencialmente, a consumidores livres; (vii) diversificação dos produtos da empresa; (viii) o potencial de geração de energia elétrica da unidade armazenadora de Ituverava foi de 215 kW, para as condições de estudo; (ix) a lucratividade da melhor opção de cogeração mostrou-se viável, economicamente, para o período de vida útil do investimento; (x) além da lucratividade com a venda da energia elétrica, existe ainda o vapor de rejeito, que pode ser utilizado na secagem dos grãos; e (xi) a unidade teria independência total ou parcial do insumo energia elétrica e, portanto, não ficaria sujeita à variação nos custos de energia elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** eficiência de unidades armazenadoras, cogeração, racionalização de energia térmica e elétrica, gerenciamento do lado do suprimento (GLS), gerenciamento do lado da demanda (GLD).

## 4.1. INTRODUÇÃO

A história tem mostrado que a energia é a base do desenvolvimento das civilizações. Nos dias atuais, tornam-se cada vez maiores as necessidades energéticas para a produção de alimentos, bens de consumo, bens de serviço e de produção, lazer e, finalmente, para promoção do desenvolvimento econômico, social e cultural. Desta forma, torna-se evidente a importância da energia, não somente no contexto das grandes nações industrializadas, mas principalmente naquelas em via de desenvolvimento, cujas necessidades energéticas são dramáticas e prementes. As fontes alternativas e renováveis de energia vêm, através dos tempos, ganhando mais adeptos e força no seu desenvolvimento e aplicação, tornando-se opção viável para as crises de petróleo e dificuldade de construção de centrais hidroelétricas, termelétricas a carvão mineral, xisto e usinas nucleares, assim como outras fontes que podem gerar grande degradação ambiental. Estes acontecimentos têm contribuído para o fortalecimento do movimento em busca de novas fontes de energia. O termo “fonte alternativa de energia” não deriva apenas de uma alternativa eficiente, mas é sinônimo de uma energia limpa, pura, não poluente, a princípio renovável, podendo ser encontrada em qualquer lugar, pelo menos, a maioria na natureza (NEA, 2005).

De acordo com Brasil (2004), na evolução da utilização de combustíveis, a oferta mundial de energia por fonte, no ano de 1973, foi de  $6.034 \times 10^6$  tep, sendo sua distribuição referente a: petróleo (45,1%); carvão mineral (24,8%); gás (16,2%); energias renováveis (11,1%); hidráulica (1,8%); nuclear (0,9%) e outras (0,1%).

Entretanto, no ano de 2001, a oferta de energia foi de  $10.290 \times 10^6$  tep, assim distribuída: petróleo (35,0%); carvão mineral (23,3%); gás (21,2%); energias renováveis (10,9%); hidráulica (2,2%); nuclear (6,9%) e outras (0,5%). Observa-se que a participação do petróleo e do carvão mineral decresceram para 10,1% e 3,6%, respectivamente, enquanto a oferta de gás e energia nuclear aumentou 5,0% e 6,0%, respectivamente. Esta situação mostra que a dependência de combustíveis fósseis tende a diminuir. Entretanto, para oferta de energia proveniente de fontes renováveis, houve pequena retração em relação a 1973.

Com a flexibilização do setor energético nacional, a cogeração e a geração distribuída passaram a ser uma alternativa interessante de diversificação de produtos e forma de utilização de energia nas empresas.

A possibilidade de implantação da cogeração em unidades armazenadoras e agroindustrias, que utilizam a energia em maior proporção, na forma de calor e tração, é indicada, pois, a utilização da lenha é indispensável durante o período de safra e safrinha. Além disso, a produção integrada de florestas energéticas, poderia favorecer a viabilidade econômica do empreendimento.

## **4.2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.2.1. Planejamento energético**

Com o planejamento energético tradicional, procurou-se expandir os recursos da oferta de energia elétrica a fim de atender, com segurança, principalmente, os critérios de crescimento de demanda futura e minimizar o custo da expansão. Tais critérios de planejamento, aliados ao baixo custo de energia praticado até à década de 70, levaram à estratégia, quase universal, da rápida expansão da capacidade geradora, sem uma preocupação explícita com o crescimento da demanda, dando pouca ênfase à eficiência do uso energético.

Com a crise do petróleo em 1973, o planejamento energético foi desenvolvido no sentido de contemplar opções de gerenciamento do lado da demanda (GLD), em virtude do alto custo da energia. Esse planejamento passou a ser integrado, englobando os recursos energéticos e o uso final da energia. Este modelo tem sido denominado como Planejamento Integrado de Recursos (PIR). O PIR combina opções de tecnologia de oferta de eletricidade e melhoria da eficiência energética, a fim de prover serviços de energia elétrica com menor custo, incluindo a contabilização dos custos social e ambiental. Segundo Jannuzzi e Swisher (1997), o PIR inclui opções de gerenciamento do lado da demanda (GLD) e do lado do suprimento (GLS).

O GLS visa racionalizar o uso da energia elétrica, pelo lado do suprimento de energia, englobando medidas como a construção e ampliação de unidades geradoras, subestações e linhas de transmissão. O GLD atua, diretamente, na curva de carga de

uma determinada concessionária de energia elétrica. Como exemplos de ações do GLD no sentido de diminuir a demanda de pico, citam-se: (i) o uso de equipamentos mais eficientes; (ii) o remanejamento de cargas; e (iii) o controle direto de cargas (PINHEIRO, 1986).

#### **4.2.2 Sistema tarifário**

Devido à entrada conjunta de iluminação pública e chuveiros do sistema residencial, a curva de carga típica do sistema elétrico brasileiro apresenta a maior demanda de energia elétrica no horário compreendido entre 17 e 22 h. Com o objetivo de adequar a oferta de energia à solicitação de carga do sistema elétrico, foi concebida a estrutura tarifária horo-sazonal (tarifas azul e verde), de modo a compreender a sistemática de aplicação de tarifas a preços diferenciados, de acordo com o horário do dia (ponta e fora de ponta) e períodos do ano (úmido e seco). Com essa estrutura tarifária, objetivou-se: (i) criar sistema de incentivos que reflitam-se no valor das tarifas e nas leis de mercado e, conseqüentemente, na melhoria da utilização da infra-estrutura do sistema elétrico nacional de geração, distribuição e transmissão; e (ii) um melhor uso da geração que é formada por, aproximadamente, 93% de recursos hídricos (CEMIG, 1998).

O sistema tarifário em vigor no Brasil, aplicável a consumidores do grupo A (aqueles que compram energia em tensão superior a 2.3 kV), pode ser classificado em convencional e horo-sazonal. Os consumidores de energia elétrica, que se enquadram no sistema convencional de tarifas, podem ser taxados pelo consumo e demanda de energia elétrica.

A tarifa no horário de ponta é cerca de 200% mais cara que a tarifa no horário fora de ponta para demanda e cerca de 130% mais cara para consumo na tarifa azul. A tarifa verde, no horário de ponta, sofre um acréscimo de 750% para o consumo de energia elétrica e não para demanda (CEMIG, 1998). Denomina-se “demanda de ultrapassagem” à demanda de energia utilizada em excesso à demanda contratada. A tarifa de ultrapassagem é 300% maior do que o valor da tarifa do respectivo horário.

#### **4.2.3 Geração distribuída**

De acordo com INEE (2005), a geração distribuída (GD) é a geração elétrica realizada junto ou próxima do(s) consumidor(es) independente da potência, tecnologia e fonte de energia. As tecnologias de GD têm evoluído no sentido de incluir potências

cada vez menores. A GD inclui: (i) cogeneradores; (ii) geradores que usam, como fonte energética, o calor de rejeito de combustíveis ou de processo; (iii) geradores de emergência; (iv) geradores para operação no horário de ponta; (v) painéis fotovoltaicos; (vi) pequenas centrais hidrelétricas - PCH's, dentre outros.

O conceito envolve, ainda, equipamentos de medida, controle e comando, que articulam a operação dos geradores e o eventual controle de cargas, seu ligamento ou desligamento, para que estas se adaptem às restrições de oferta de energia.

A GD tem vantagens sobre a geração centralizada, pois, economiza investimentos em transmissão e reduz as perdas nesses sistemas, melhorando a estabilidade do serviço de energia elétrica.

A geração elétrica próxima ao consumidor chegou a ser a regra na primeira metade do século XX, quando a energia industrial era, praticamente, toda gerada no local. A partir da década de 40, no entanto, a geração em centrais de grande porte ficou mais barata, reduzindo o interesse dos consumidores pela GD e, como consequência, o desenvolvimento tecnológico para incentivar este tipo de geração também estagnou.

As crises do petróleo introduziram fatores perturbadores, que mudaram radicalmente este panorama, revelando a importância, por exemplo, da economia obtida na cogeração. A partir da década de 90, a reforma no setor elétrico brasileiro levou à competição no serviço de energia, criando a concorrência e estimulando todos os potenciais elétricos com custos competitivos.

Com o fim do monopólio da geração elétrica, por parte das concessionárias de energia elétrica em meados dos anos 80, o desenvolvimento desta tecnologia voltou a ser incentivado com visíveis resultados na redução de custos. O crescimento da GD nos próximos anos parece inexorável, sendo que alguns autores fazem uma analogia com o crescimento do microcomputador, relativamente aos grandes computadores centrais.

Com a GD, torna-se possível obter maior eficiência energética. Devido a isto, alguns órgãos como o Instituto Nacional de Energia Elétrica (INEE) têm trabalhado no sentido de propor mudanças, que incentivem uma maior participação de atores no mercado de geração e comercialização de energia elétrica de modo livre e não cativo. Tais ações promovem o desenvolvimento desta forma de geração elétrica.

Em 2004, houve um grande avanço em favor da GD, ao ser mencionada na Lei 10.848/04 que “Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica” como uma das possíveis fontes de geração de energia elétrica. O detalhamento do Decreto 5.163/04 que “Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de

concessões de autorizações de geração de energia elétrica”, que fornece características úteis às empresas distribuidoras, que se opunham a esta forma de geração, a enxergarem na GD uma das formas de mitigar riscos de planejamento.

#### **4.2.4. Cogeração**

Segundo Corrêa Neto (2001), a cogeração é definida como o processo de transformação e utilização de energia térmica de um combustível em mais de uma forma de energia útil. As formas de energia útil mais freqüentes são as energias mecânica e térmica. A energia mecânica pode ser utilizada, diretamente, no acionamento de equipamentos ou na geração de energia elétrica. A energia térmica é utilizada, diretamente, no atendimento das necessidades de calor para processos ou, indiretamente, na produção de vapor ou de frio.

#### **Viabilização da cogeração na indústria**

Para que a implantação de cogeração em uma indústria seja viável, é necessário: (i) a demanda da indústria por diferentes formas de energia cogenerada (energia mecânica ou elétrica e de calor ou frio); (ii) o custo da energia cogenerada seja inferior à soma dos insumos energéticos adquiridos (energia elétrica mais combustível); (iii) garantias de suprimento de combustível; e (iv) não ocorrência de restrições ambientais que inviabilizem à implantação do empreendimento.

Os principais atrativos da cogeração na indústria são apresentados a seguir. Para o usuário da cogeração: (i) independência total ou parcial do sistema da concessionária de energia elétrica; (ii) dependendo do processo de cogeração, pode haver maior flexibilidade na escolha de insumos (combustíveis) regionais; (iii) possibilidade de redução do impacto ambiental, dependendo do combustível utilizado na cogeração; (iv) possibilidade de modular as cargas de acordo com suas necessidades, sem ter de renegociar contratos de energia elétrica; (v) maior independência energética e maior controle e gestão dos custos totais da energia; e (vi) maior eficiência energética global. Para o meio ambiente: (i) redução da carga térmica rejeitada para o ambiente, ao utilizar-se de forma mais eficiente a energia contida no combustível; e (ii) melhor utilização das complementaridades existentes nos processos.

A partir da fonte de calor disponível para a cogeração, esta pode ser classificada em dois grandes grupos (tipos): (i) a cogeração de “bottoming”; e (ii) a cogeração de “topping”.

A Figura 4.1 ilustra dois tipos de fluxograma de cogeração: o primeiro é “bottoming” e o segundo “topping”.

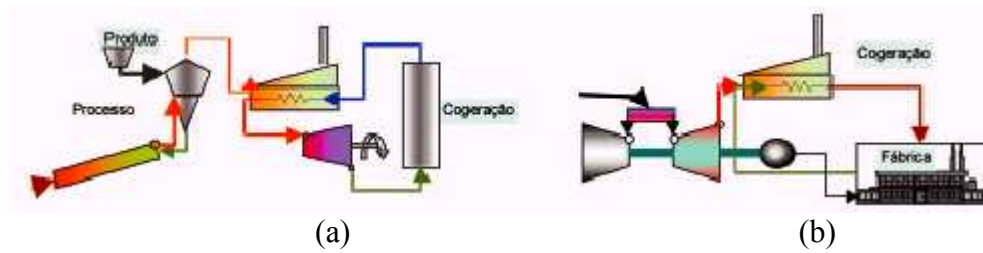


Figura 4.1. Cogeração “bottoming” (a) e “topping” (b).

Os sistemas são, basicamente, separados em dois grandes grupos, em função da seqüência de utilização da energia, podendo ser “bottoming cycle” e “topping cycle”.

Nos sistemas do tipo “bottoming”, o energético produz, primeiramente, vapor que é utilizado na produção de energia mecânica (e, ou elétrica) em turbinas a vapor e, depois, retornado ao processo.

Nos sistemas tipo "topping", o energético é utilizado na produção de energia elétrica e, ou mecânica em turbinas ou motores a gás, sendo que o calor rejeitado é recuperado para o sistema térmico.

A escolha de uma destas soluções é função do perfil de necessidades elétricas e térmicas de cada aplicação. Os sistemas “topping” são mais amplamente utilizados e difundidos, podendo-se empregar turbinas ou motores a gás (ou a diesel). Em um ciclo deste tipo o calor dos gases de descarga de uma turbina pode ser empregado da seguinte forma: (i) para geração de vapor, normalmente em pressões até 40 bar, com amplo uso em instalações industriais e comerciais; (ii) para geração de água quente, muito utilizado nos países nórdicos para aquecimento distrital; (iii) para uso direto em processos industriais como secagem, fornos e outros; e (iv) para uso em sistemas de refrigeração por absorção (empregando vapor).

### **Os custos em sistemas de cogeração tradicionais**

Segundo Corrêa Neto (2001), a viabilidade econômica das instalações que utilizam a tecnologia de cogeração, bem como a efetiva racionalização de energia, são fortemente afetadas pelo fator de utilização dos equipamentos e pela correta adequação entre as quantidades energéticas fornecidas pela instalação e as quantidades energéticas consumidas pelo processo.

A instalação de um sistema de cogeração requer, naturalmente, um prévio estudo de viabilidade técnico-econômica, em que os seguintes fatores devem ser considerados: (i) eficiência das máquinas térmicas; (ii) custo de investimento; (iii) custo de operação; (iv) custo de manutenção; (v) custo do combustível, incluindo análise de tendência de preço, ao longo da vida do projeto; (vi) disponibilidade de combustível alternativo; (vii) preço da energia elétrica; (viii) custo da demanda suplementar de reserva (DSR) ou *back-up*; (ix) perfil de operação da planta (base ou de pico); (x) disponibilidade da planta; (xi) custos relativos à operação em carga parcial; (xii) possibilidade de venda de excedente de energia elétrica e vapor; (xiii) depreciação; (xiv) impostos; (xv) custo do financiamento; (xvi) restrições de órgãos ambientais; (xvii) custos de partida e comissionamento; e (xviii) seguro.

No Quadro 4.1, têm-se os custos de referência de um sistema de cogeração básico, ou seja, a máquina térmica instalada com o recuperador de calor. São apresentados o custo individual das máquinas térmicas, comumente, mais utilizadas, o investimento total desta instalada com equipamentos auxiliares e pronta para operar, o custo do recuperador de calor e o custo médio de operação e manutenção. São referenciadas, também, as faixas de potência e eficiência comercialmente disponíveis.

Quadro 4.1. Custos de referência para sistemas básicos de cogeração

| Parâmetros   | Tecnologia    |               |               |               |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|  | Motor diesel  | Motor a gás   | Turbina a gás | Microturbina  |
| Faixa de potência (kW)   | 20 - 1000     | 50 - 5000     | 1000          | 30 - 200      |
| Eficiência <sup>1</sup> (%) PCI                                  | 36 - 43       | 28 - 42       | 21 - 40       | 25 - 30       |
| Investimento da máquina térmica (US\$ kW <sup>-1</sup> )         | 125 - 300     | 250 - 600     | 300 - 600     | 350 - 750*    |
| Investimento total instalado operando (US\$ kW <sup>-1</sup> )   | 350 - 500     | 600 - 1000    | 650 - 900     | 600 - 1100    |
| Custo adicional do recuperador de calor (US\$ kW <sup>-1</sup> ) | -             | 75 - 150      | 100 - 200     | 75 - 350      |
| Custo de O&M (US\$ kW <sup>-1</sup> )                            | 0,005 - 0,010 | 0,007 - 0,015 | 0,003 - 0,008 | 0,005 - 0,010 |

<sup>1</sup> - Eficiência da máquina térmica

\* - Valor comercial pretendido

O&M - Operação e manutenção

Fonte: (KINCAID (1999) citado por Corrêa Neto (2001))

Os preços das plantas variam, consideravelmente, dependendo do escopo de fornecimento, requisitos do local de instalação, área geográfica e condições do mercado. Um fator importante está relacionado ao custo do combustível, a ser fornecido para a planta, enquanto outro diz respeito aos custos de mão-de-obra e construção, que podem

variar, intensamente, de um local para outro. As plantas mais eficientes, por serem mais complexas, ou seja, providas de recuperadores de calor com vários níveis de pressão, turbinas a vapor com múltiplas carcaças e outros, têm custos maiores.

O Quadro 4.2 apresenta alguns parâmetros de referência para sistemas de cogeração.

Quadro 4.2. Parâmetros de referência para sistemas básicos de cogeração

| Parâmetros  | Tecnologia                           |  |                               |   |  |
|---|--------------------------------------|--|-------------------------------|---|--|
|   | Motor diesel                         | Motor a gás  | Turbina a vapor               | Turbina a gás   | Microturbina   |
| Eficiência <sup>a</sup> (%)                                     | 30 - 50                              | 25 - 45  | 30 - 42                       | 25 - 40% <sup>g</sup><br>40- 60% <sup>h</sup>                       | 20 - 30%   |
| Faixa de potência (MW)  | 0,05 - 5                             | 0,05 - 5   | qualquer                      | 3 - 200   | 0,025 - 0,25   |
| Área requerida (m <sup>2</sup> kW <sup>-1</sup> )               | 0,0204                               | 0,0204 - 0,0288  | < 0,009 <sup>c</sup>          | 0,0019 - 0,0567   | 0,0139 - 0,1394  |
| Custo de instalação <sup>b</sup> (US\$ kW <sup>-1</sup> )       | 800 - 1500                           | 800 - 1500   | 800 - 1000                    | 700 - 900   | 500 - 1300   |
| Custo de O&M (US\$ kW <sup>-1</sup> )                           | 0,005 - 0,010                        | 0,007 - 0,015  | 0,004                         | 0,002 - 0,008   | 0,002 - 0,01   |
| Disponibilidade (%)   | 90 - 95                              | 92 - 97  | Próximo dos 100               | 90 - 98   | 90 - 98  |
| Período entre revisões gerais (h)                               | 25.000 - 30.000                      | 24.000 - 60.000  | > 50.000                      | 30.000 - 50.000   | 5.000 - 40.000   |
| Tempo de partida  | 10 s                                 | 10 s   | 1h - 1 dia                    | 10 min - 1 h  | 60 s   |
| Pressão do combustível (kPa)                                    | < 34,5                               | 6,9 - 310  | -                             | 825 - 3.447 <sup>d</sup>  | 276 - 690 <sup>d</sup>                                       |
| Combustíveis aplicáveis   | Diesel e óleos residuais             | Gás natural, biogás e propano                                | Todos                         | Gás natural, biogás, propano e óleo destilado                       | Gás natural, biogás, propano e óleo destilado                |
| Nível de ruído  | Moderado a alto <sup>e</sup>         | Moderado a alto <sup>e</sup>                                 | Moderado a alto <sup>e</sup>  | Moderado <sup>f</sup>   | Moderado <sup>f</sup>  |
| Emissões de Nox (g kWh <sup>-1</sup> )                          | 1,368 - 14,968                       | 0,998 - 12,7   | 0,816                         | 0,136 - 1,814   | 0,181 - 0,998  |
| Usos do calor recuperado  | Água quente e Vapor de baixa pressão | Calor direto dos gases, Água quente e Vapor de baixa pressão | Vapor de alta e baixa pressão | Calor direto dos gases, Água quente e Vapor de alta e baixa pressão | Calor direto dos gases, Água quente e Vapor de baixa pressão |
| Relação calor trabalho (kWh <sub>Ter</sub> kWh <sub>Mec</sub> ) | 0,996                                | 0,293 - 1,465  | -                             | 0,996 - 3,516   | 1,172 - 4,395  |
| Faixa de temperatura do calor útil (°C)                         | 82 - 482                             | 150 - 260  | -                             | 260 - 593   | 205 - 345  |

a - Eficiência da máquina térmica; b - Sistema de cogeração básico, ou seja, a máquina térmica instalada com recuperador de calor; c - Só turbina sem o ciclo de geração de vapor; d - Pode exigir compressor de gás; e - Requer enclausuramento da área; f - Enclausuramento agregado ao equipamento; g - Ciclo simples. H - Ciclo combinado; i - Sem caldeira de geração de vapor.

Fonte: (REVIEW (1999) citado por Corrêa Neto (2001)).

No Quadro 4.2, além de custos de referência para sistemas básicos de cogeração, outros importantes parâmetros são também apresentados, como disponibilidade, tempo entre paradas para revisão geral, tempo de partida dos equipamentos, pressão de alimentação do combustível, emissões de NOx, proporção de energia térmica recuperável em relação à energia mecânica produzida e a faixa de temperatura de aproveitamento do calor recuperado.

### **Ciclos de cogeração**

Na escolha do sistema, deve-se considerar a viabilidade técnico-econômica, as necessidades estratégicas e outras variáveis, como a disponibilidade de água, espaço, combustível, condições ambientais e outros.

### **Ciclo de cogeração com turbinas a vapor**

Neste ciclo de cogeração, a energia térmica resultante da combustão é transferida, através de caldeira, para a água que vaporiza e superaquece. O vapor superaquecido é expandido em uma turbina, que aciona uma carga mecânica (ou gerador elétrico). O vapor é extraído na saída da turbina, nas condições de temperatura e pressão requeridas para o processo, que utiliza este calor útil. Geralmente, o fluido é devolvido à caldeira, em estado condensado, para reiniciar o ciclo.

### **O ciclo Rankine**

O ciclo Rankine é o ciclo ideal para uma unidade motora simples a vapor e compreende os processos termodinâmicos básicos, abaixo listados e apresentados no diagrama T-S, Figura 4.2.

- 1 – 2 : Processo de bombeamento adiabático reversível;
- 2 – 3 : Processo de troca de calor a pressão constante, na caldeira;
- 3 – 4 : Processo de expansão adiabática reversível (turbina ou pistão); e
- 4 – 1 : Processo de troca de calor à pressão constante, no condensador.

As indicações  $Q_H$  e  $Q_L$  significam, respectivamente, a transferência de calor do reservatório de alta temperatura para o fluido de trabalho e do fluido de trabalho para o reservatório de baixa temperatura.

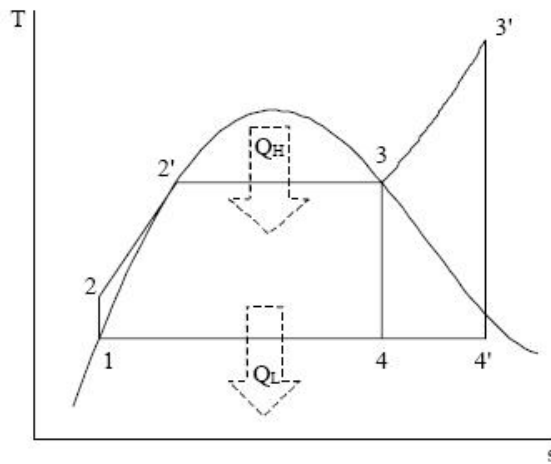


Figura 4.2. Diagrama temperatura (T) versus entropia (s) do ciclo Rankine.

O ciclo de Rankine inclui, também, a possibilidade de superaquecimento do vapor, como o ciclo 1-2-3'-4'.

Na análise do ciclo, considera-se o rendimento como dependente tanto da temperatura média à qual o calor é fornecido quanto da temperatura média à qual ele é rejeitado. O rendimento do sistema pode ser expresso por

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (3)$$

em que

- $T_1$  = temperatura da fonte fria; K; e
- $T_2$  = temperatura da fonte quente; K.

O rendimento do ciclo Rankine é significativamente, afetado por alterações na pressão e temperatura de operação, sendo que, qualquer medida que eleve a temperatura média à qual o calor é fornecido, como superaquecimento do vapor, o aquecimento regenerativo (entre 2 e 2'), ou reduza a temperatura média à qual ele é rejeitado, como a condensação do vapor em pressão negativa ou vácuo, eleva o rendimento do ciclo.

Esta redução de pressão na condensação produz um efeito prático indesejável, que é a redução do título 1 do vapor na saída da turbina, provocando queda de rendimento e erosão nas palhetas da turbina.

Outra medida que eleva a temperatura média de fornecimento do calor é o aumento da pressão máxima do ciclo. Entretanto, esta alteração contribui, também, para redução do título do vapor na saída da turbina.

A alternativa tecnológica, que permite aproveitar os benefícios dessas medidas, é o reaquecimento do vapor, cujo efeito direto sobre a temperatura média de fornecimento

não é significativo, mas elimina o risco de comprometimento das palhetas da turbina devido à umidade.

Em um ciclo real a vapor com turbina, o processo 1 – 2 é o bombeamento da água, chamada neste ponto de condensado, da pressão de condensação até à pressão de geração de vapor na caldeira. Em 2 – 2', a água passa por aquecimento, que pode ser realizado no interior da caldeira ou em aquecedores externos, no ciclo regenerativo, atingindo a temperatura de vaporização na pressão de trabalho da caldeira. Em 2'- 3, a água passa do estado de líquido saturado para vapor saturado, recebendo calor do combustível no interior da caldeira. Em 3 – 4, o vapor expande-se na turbina, realizando o trabalho útil; e em 4 – 1, o vapor rejeita calor no condensador, retornando ao estado líquido para, novamente, ser bombeado.

Entre os fatores, que afastam o ciclo real do ciclo ideal, encontram-se: as perdas de carga e de transferência de calor, nas tubulações de transporte do vapor e da caldeira; perdas na turbina associadas ao escoamento do fluido de trabalho e a transferência de calor; perdas na bomba decorrentes, principalmente, das irreversibilidades associadas ao escoamento do fluido; e perdas no condensador, como a redução de temperatura do condensado abaixo da sua temperatura de saturação.

As turbinas a vapor trabalham em ciclo Rankine, sendo amplamente utilizadas como meio de acionamento para diversos tipos de equipamentos, entre os quais encontram-se os geradores elétricos. Seu trabalho é obtido através da transformação da energia potencial do vapor em energia mecânica. O montante da conversão de energia depende da pressão e da temperatura do vapor na entrada do equipamento e da forma de sua expansão a uma menor pressão em seu interior (CORRÊA NETO, 2001).

O vapor saturado ocorre, quando a temperatura de entrada coincide com a temperatura de saturação à pressão do vapor. Quando a temperatura estiver acima da temperatura de saturação, o vapor estará superaquecido, sendo que a diferença entre essas temperaturas será o grau de superaquecimento. Normalmente, procura-se superaquecer o vapor com o propósito de evitar a condensação, durante a expansão, assim como o conseqüente surgimento de gotículas de água, que causam danos à turbina por operarem em altas rotações.

Um diagrama de Mollier, ou uma tabela de vapor indica a quantidade de energia, em forma de entalpia, que o vapor possui nas suas condições iniciais e a quantidade passível de ser convertida em energia mecânica, para suas condições finais (Figura 4.3).

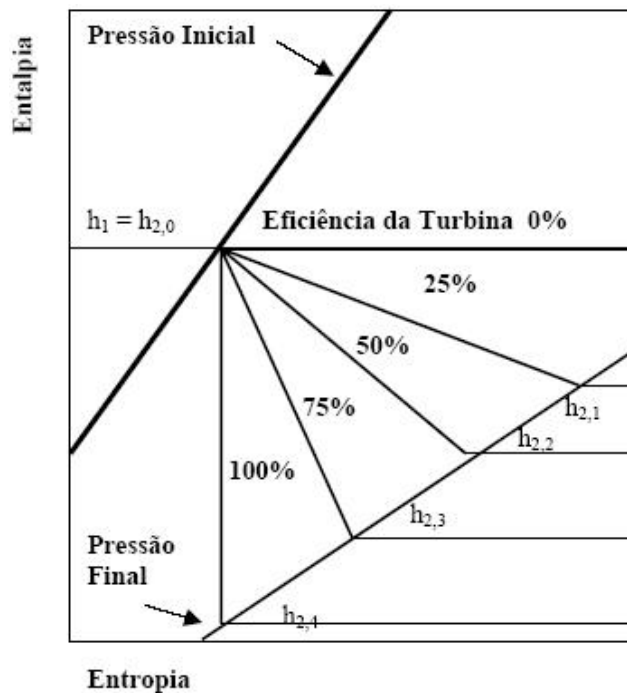


Figura 4.3. Representação esquemática do diagrama de Mollier – eficiência da turbina a vapor no gráfico entalpia versus entropia.

Estes equipamentos estão disponíveis dentro de uma ampla faixa de potência. Entretanto, em contraste com equipamentos como os motores dos ciclos Otto e Diesel ou as turbinas a gás, não apresentam autonomia, pois, requerem o sistema de geração de vapor e todos os aparatos que complementam o ciclo Rankine.

Os modelos mais simples e nas menores faixas de potências são turbinas de simples estágio, que se encontram comumente disponíveis entre 50 a 2.000 kW. As turbinas multiestágios com eficiências maiores podem atingir potências da ordem de 1.000 MW.

Um importante parâmetro da aplicação da turbina e de todo o sistema térmico relacionado é a forma de processamento dos gases de exaustão. Caso o processo não requeira energia térmica à sua jusante, a turbina operará em um ciclo de condensação total com a pressão dos gases de exaustão abaixo da pressão atmosférica. Havendo necessidade da energia térmica, a turbina operará em um ciclo de contrapressão e a pressão dos gases de exaustão estará relacionada às condições exigidas no processo. Um ciclo com extração é aquele em que ocorre uma condensação parcial e uma extração, em uma fase intermediária da expansão do vapor. A extração pode ser realizada, também, em um ciclo de contrapressão. Os parâmetros dos balanceamentos térmico, mássico e

energético dos sistemas de cogeração, utilizando ciclos Rankine, são a pressão e a vazão mássica dos gases de exaustão da turbina.

A eficiência da turbina é o desvio, que a expansão do vapor sofre em relação à expansão de uma turbina ideal ou teórica, ou seja, é a relação entre a expansão à entropia constante da turbina ideal e a expansão não isoentrópica da turbina real. A Figura 4.3 mostra os desvios relativos à eficiência de 0%, 25%, 50% e 100%.

O trabalho real de uma turbina, ou o calor convertido pela expansão do vapor na turbina dividido pelo trabalho de expansão do ciclo ideal, fornece o fator de eficiência da turbina.

Quando os gases de exaustão da turbina estão a uma pressão acima da atmosférica, ele pode ser usado ainda como fonte de calor para outros processos. Neste caso, para avaliação do aproveitamento energético, utiliza-se o conceito de eficiência térmica, que é a razão entre o calor total disponível e o calor aproveitado.

A eficiência da turbina serve de quanto à qualidade de seu projeto, porém não fornece dados sobre todo o aproveitamento energético possível, devido a desconsideração quanto à utilização de seus gases de exaustão, que é um importante parâmetro de avaliação global da energia.

A eficiência térmica é a quantidade de energia requerida para produção de uma unidade de trabalho. Se a turbina opera em um ciclo de contrapressão, com a energia de seus gases de exaustão sendo aproveitada como fonte térmica de outros processos, esta razão aproxima-se de 100%. Há que se considerar, nesta relação, a energia rejeitada do calor de condensação.

Um outro parâmetro freqüentemente utilizado na avaliação das turbinas é a taxa de vapor, que é a razão da quantidade unitária de vapor – sob determinada condição – necessária à realização de uma unidade de trabalho.

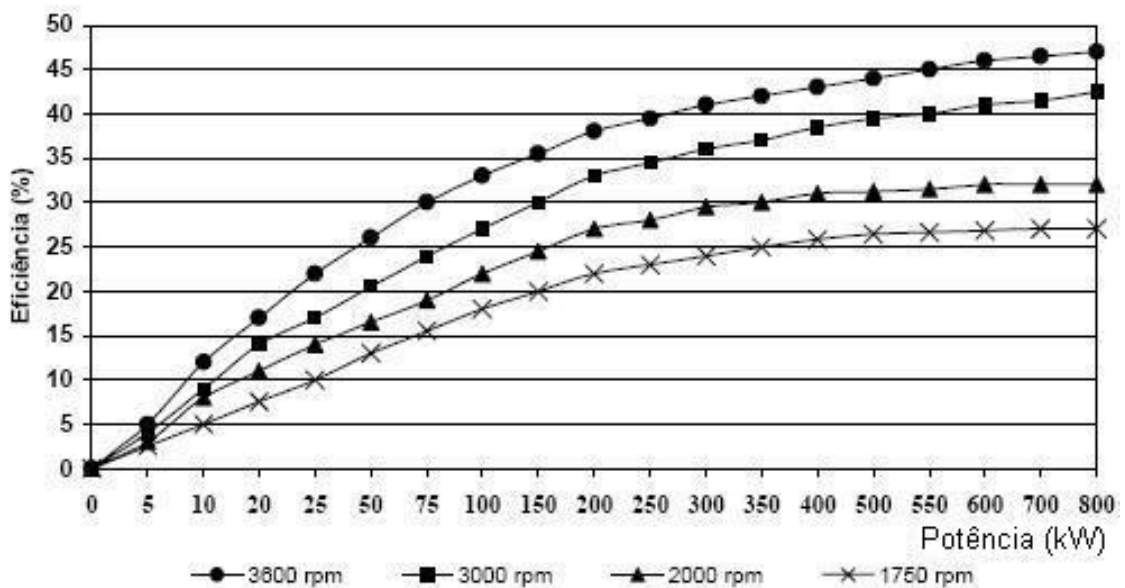
Uma comparação generalizada da eficiência dos diversos tipos de turbinas torna-se difícil, pois, seus projetos são destinados a fins específicos. Os parâmetros de operação, pressão e temperatura de entrada do vapor e pressão dos gases de exaustão influenciam a eficiência. Portanto, para compará-las é necessária a fixação desses parâmetros.

Um aumento na pressão e na temperatura de entrada do vapor aumentará a eficiência da turbina e, ou todo o aproveitamento energético do processo. Este aumento nas condições iniciais resultará em aumento da energia disponível para conversão em energia mecânica. Tal parâmetro, comumente conhecido como a razão da queda de

entalpia, reduz a taxa de vapor na entrada da turbina. Uma diminuição na pressão dos gases de exaustão produz, também, uma melhora no aproveitamento energético, porém este estará mais condicionado às necessidades dos processos a jusante da turbina.

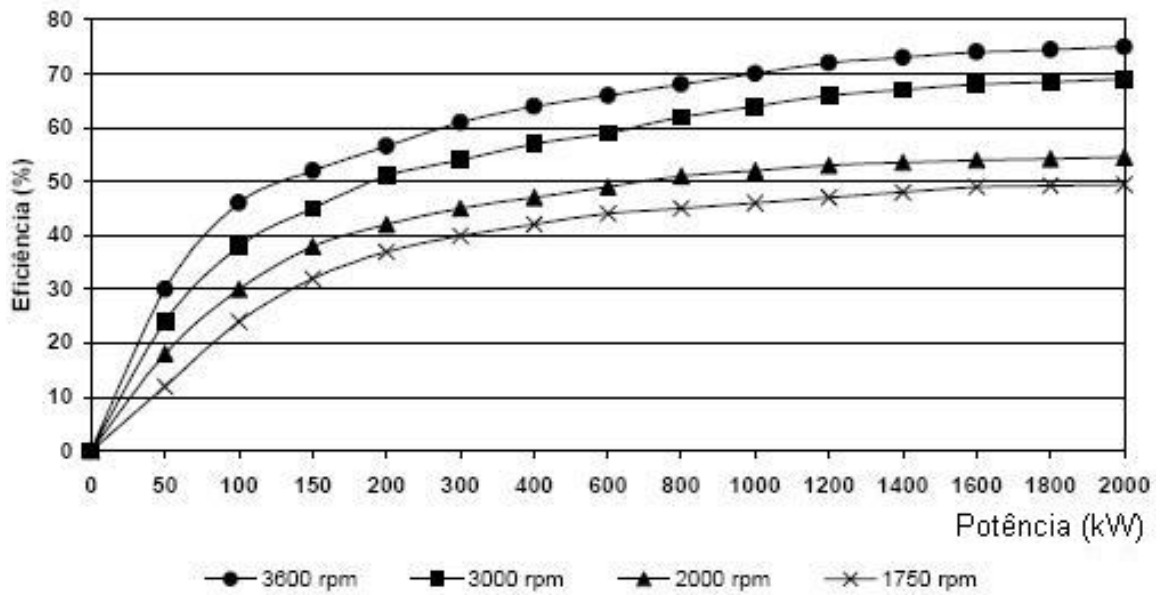
As turbinas multiestágios são equipamentos construídos, especificamente, para uma determinada condição de operação e para uma máxima obtenção de conversão e, portanto, esta característica de sua engenharia permite atingir altos níveis de eficiência. Entretanto, para diminuição de custos, as turbinas de estágio simples, apresentam uma característica padronização na fabricação, que acaba comprometendo sua razão de eficiência.

Nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6, são apresentadas, respectivamente, as curvas de desempenho para turbinas de simples estágio, para turbinas multiestágios de condensação total e turbinas de contrapressão. Estes gráficos, fornecidos por fabricante específico, foram determinados para condições fixas de entrada e dos gases de exaustão das turbinas.



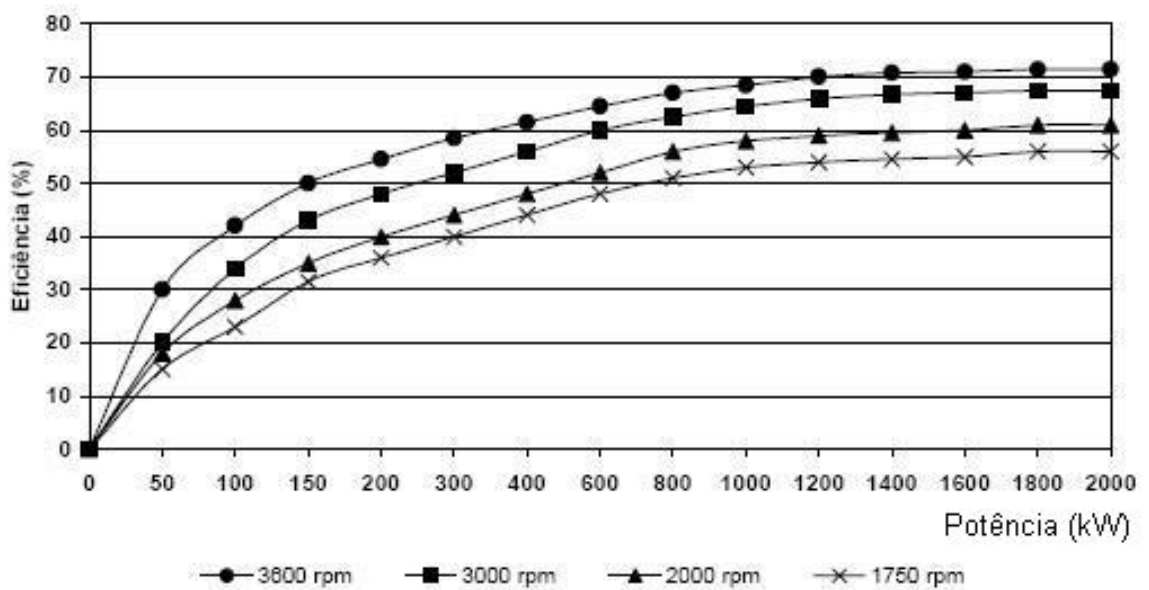
Fonte: Corrêa Neto (2001)

Figura 4.4. Relação potência versus eficiência de turbinas a vapor de simples estágio.



Fonte: Corrêa Neto (2001)

Figura 4.5. Relação potência versus eficiência de turbinas a vapor de multiestágios e condensação.



Fonte: Corrêa Neto (2001)

Figura 4.6. Relação potência versus eficiência de turbinas a vapor de multiestágios e contrapressão.

#### 4.2.5. Análise econômica

A análise econômica foi realizada de acordo com os índices descritos no Ítem 3.2.8, Capítulo 3 (página 167).

### **4.3. OBJETIVO**

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar soluções energéticas, que possibilitem tornar as unidades armazenadoras de produtos agrícolas totalmente e, ou parcialmente independentes do insumo energia elétrica, além da possibilidade de venda de excedentes com a geração de energia elétrica, com vistas aos seguintes objetivos:

- Estudar a viabilidade técnica e econômica da cogeração em unidades armazenadoras, utilizando lenha e seus resíduos; e
- Estudos de caso: geração distribuída em unidades armazenadoras e a opção de interligação à rede de energia elétrica das concessionárias de energia elétrica.

## **4.4. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia (CAROL), Estado de São Paulo e nos laboratórios de Energia e de Pré-Processamento de Produtos Vegetais pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. A unidade armazenadora de Ituverava tem capacidade estática de armazenagem de 35.000 toneladas de grãos, armazenando soja e milho na safra agrícola e milho e sorgo na safrinha agrícola. Já a unidade de Guaíra, possui capacidade estática de armazenagem de 70.000 toneladas de grãos, armazenando soja e milho na safra agrícola e milho e sorgo na safrinha agrícola. Estas unidades armazenadoras possuem uma capacidade estática de secagem de  $120 \text{ t h}^{-1}$  e  $140 \text{ t h}^{-1}$ , respectivamente.

### **4.4.1. Cogeração em unidades armazenadoras utilizando lenha e seus resíduos**

#### **Avaliação da venda de energia nos diversos cenários de venda de energia elétrica no mercado atacadista**

Foram feitas simulações de cálculo de um sistema de cogeração, em que houve variação no preço da energia elétrica e seu impacto na implantação do sistema. Os dados das faturas de energia elétrica em estudo foram: (i) a modalidade da tarifa estudada; (ii) a tarifa praticada e o valor faturado mensal da energia nos horários de ponta e fora de ponta e a tarifa praticada, além do valor faturado mensal de demanda única; e (iii) a demanda contratada junto à concessionária de energia elétrica. Os valores das tarifas, adotadas na simulação, são as tarifas vigentes em dezembro de 2002 da

concessionária de energia elétrica da Eletropaulo, assim como os valores de energia do mercado atacadista em dezembro de 2002.

### **Estudo da importância da integração do ciclo de produção da lenha visando a cogeração**

Foram consideradas as seguintes possibilidades, em relação ao suprimento de combustível lenha para a cogeração: (i) compra de combustível; (ii) produção própria; e (iii) misto das opções anteriores.

Para efeito da instalação de um sistema de cogeração em uma unidade armazenadora de grãos, que já utiliza lenha normalmente no processo de secagem, durante o período de safra e safrinha, o que corresponde a cerca de 6 meses de utilização de lenha, considerou-se que: (i) se a unidade armazenadora for produtora de lenha, não haverá gastos adicionais com lenha; e (ii) caso contrário, haverá necessidade da compra de lenha para a geração de energia térmica durante um período médio de 180 dias, caso a unidade armazenadora não fosse produtora de lenha.

Tanto o ônus relativo à compra da área para plantio, 903 hectares, cujo valor estimado foi de R\$ 903.000,00, quanto o bônus, ou ganho líquido de R\$ 522,58 ha<sup>-1</sup> de reflorestamento, no período de 12 anos a partir da implantação da cultura, foram considerados na análise. A receita líquida de R\$ 522,58 ha<sup>-1</sup> de reflorestamento, considera todas as etapas e custos de produção do plantio a comercialização do eucalipto.

Considerou-se que a lenha, a ser utilizada na cogeração, seria aquela a ser utilizada no processo de secagem.

#### **4.4.2. Geração distribuída em unidades armazenadoras**

Foram coletados dados da lenha, faturas de energia elétrica, sendo também obtido o contrato de demanda entre a unidade armazenadora e a concessionária de energia elétrica. Coletou-se a lenha nas leiras de estocagem da unidade armazenadora e, posteriormente, foram determinados seu poder calorífico, massa específica e teor de água.

Foram estudados os dados históricos de consumo e demanda tanto no período de ponta quanto no horário fora de ponta, registrados durante 12 meses no ano de 2002.

Foram ainda estudados também o atual contrato de fornecimento de energia elétrica e as implicações decorrentes, como demandas de contrato e categoria tarifária.

De posse dos valores de consumo de lenha no sistema de secagem, de rendimento de conversão da energia térmica em energia elétrica por meio da turbina e do gerador de corrente alternada, procedeu-se à estimativa da geração de energia elétrica e calor residual, baseando-se no consumo dos dois secadores do tipo torre de fluxos mistos cuja capacidade de secagem é  $60 \text{ t h}^{-1}$ .

Estudou-se o impacto do sistema elétrico de interligação na viabilidade do investimento, incluindo: (i) custo da interligação; (ii) vantagens da interligação na possibilidade de venda de energia à rede da concessionária de energia elétrica; e (iii) custo máximo de produção, que viabiliza o investimento.

## 4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1. Cogeração em unidades armazenadoras utilizando lenha e seus resíduos

#### Cogeração

No Quadro 4.3, são apresentados os dados de entrada para análise da viabilidade técnica da implantação de um sistema de cogeração.

Quadro 4.3. Dados para a análise técnica da cogeração em unidade armazenadora

| Secador                                     | Unidade                        | Quantidade |
|---|--------------------------------|------------|
| Tempo de operação na safra                  | dias                           | 120        |
| Tempo de operação na safrinha               | dias                           | 60         |
| Capacidade dos secadores                    | t h <sup>-1</sup>              | 60         |
| Número de secadores                         | und                            | 2          |
| Horas de funcionamento                      | h dia <sup>-1</sup>            | 24         |
| Temperatura de secagem                      | °C                             | 100        |
| Demanda de energia elétrica de cada secador | kW                             | 77,9       |
| Produto - milho                             |                                |            |
| Teor inicial de água                        | %b.u.                          | 20         |
| Teor final de água                          | %b.u.                          | 13         |
| Fornalha                                    |                                |            |
| Eficiência da fornalha                      | %                              | 35         |
| Consumo de lenha da fornalha                | m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> | 1,40       |
| Lenha                                       |                                |            |
| Poder calorífico inferior da lenha          | kJ kg <sup>-1</sup>            | 17616,3    |
| Teor de água da lenha                       | %b.u.                          | 24         |
| Massa específica da lenha                   | kg m <sup>-3</sup>             | 450        |
| Gasto energético - energia elétrica         |                                |            |
| Demanda máxima na safra                     | kW                             | 311        |
| Gerador de energia elétrica                 |                                |            |
| Eficiência do gerador de energia elétrica   | %                              | 10         |

O Quadro 4.3 apresenta os dados de entrada para análise da viabilidade técnica de implantação de um sistema de cogeração, utilizando-se uma caldeira e uma turbina a vapor, com geração de energia elétrica e calor de rejeito para o processo de secagem, em substituição a geração de calor por meio da fornalha.

O Quadro 4.4 mostra a energia produzida pela queima da lenha no sistema de cogeração.

Quadro 4.4. Energia produzida pela queima da lenha, no sistema de cogeração

| Potencial de cogeração (2 secadores)                       |     |              |
|--|-----|--------------|
| Demanda de energia elétrica máxima em Ituverava (mensal)   | kW  | 215,80       |
| Demanda de energia elétrica máxima em Ituverava (12 meses) | kW  | 2589,60      |
| Energia elétrica máxima na safra + safrinha (180 dias)     | kWh | 932.254,60   |
| Energia elétrica máxima disponível o ano todo (360 dias)   | kWh | 1.864.509,19 |

De acordo com o exposto, a demanda disponível seria de aproximadamente 216 kW a produção de energia no sistema de cogeração com a utilização horária de 2,8 m<sup>3</sup> de lenha nos 2 secadores. Desta forma, a potência anual disponibilizada seria superior à demanda atual da unidade armazenadora. O consumo, considerando-se somente a geração na safra e fora de safra (180 dias).

O Quadro 4.5 apresenta os custos, consumo e demanda de energia elétrica da unidade armazenadora de Ituverava para as faturas de energia elétrica do ano de 2002.

Quadro 4.5. Custos, consumo e demanda de energia elétrica no ano de 2002

|                                | Total da demanda e consumo no horário de ponta e fora de ponta |               |       | Gasto anual com energia elétrica no ano 2002 |           |               |
|--------------------------------|--|---------------|-------|--|-----------|---------------|
|                                | Demanda  | Consumo       |       | Demanda                                      | Consumo   |               |
|                                |  | Fora de Ponta | Ponta |  | Ponta     | Fora de Ponta |
|                                | kW   | kWh           | kWh   | R\$  | R\$       | R\$           |
| Janeiro                        | 73   | 9954          | 686   | 2.310,04                                     | 408,81    | 560,09        |
| Fevereiro                      | 154  | 13914         | 905   | 2.335,80                                     | 545,37    | 791,71        |
| Março                          | 311  | 77022         | 6735  | 2.335,80                                     | 4.058,65  | 4.382,55      |
| Abril                          | 278  | 62766         | 3646  | 2.481,51                                     | 2.332,34  | 3.790,94      |
| Mai                            | 153  | 27756         | 1348  | 2.607,80                                     | 920,72    | 1.992,60      |
| Junho                          | 148  | 36810         | 1217  | 2.607,80                                     | 831,25    | 2.642,59      |
| Julho                          | 220  | 26118         | 797   | 2.607,80                                     | 544,37    | 1.875,01      |
| Agosto                         | 255  | 33570         | 1133  | 2.607,80                                     | 773,87    | 2.409,99      |
| Setembro                       | 185  | 16542         | 845   | 2.607,80                                     | 577,16    | 1.187,55      |
| Outubro                        | 99   | 8046          | 708   | 2.607,80                                     | 483,59    | 577,62        |
| Novembro                       | 49   | 5580          | 654   | 2.607,80                                     | 446,70    | 400,59        |
| Dezembro                       | 36   | 4914          | 508   | 2.607,80                                     | 341,29    | 311,70        |
| Total ( ano <sup>-1</sup> )    |  | 322992        | 19182 | 30.325,55                                    | 12.264,12 | 20.922,94     |
| Total (R\$ ano <sup>-1</sup> ) |  |               |       |  |           | 63.512,61     |

O Quadro 4.6 apresenta o preço médio da demanda e do consumo de energia elétrica para a unidade armazenadora de Ituverava, para a modalidade de tarifa horo-sazonal verde.

Quadro 4.6. Preço médio da energia elétrica para a unidade armazenadora de Ituverava, no ano 2002 e no ano 2005

| Preços praticados no ano de 2002  |       |
|---|-------|
| Preço do kW de demanda médio (R\$ kW <sup>-1</sup> )                                    | 7,43  |
| Preço do kWh de consumo no horário de ponta (R\$ kWh <sup>-1</sup> )                    | 0,639 |
| Preço do kWh de consumo no horário fora de ponta (R\$ kWh <sup>-1</sup> )               | 0,065 |
| Preços praticados no ano de 07/2005   |       |
| Preço do kW de demanda médio (R\$ kW <sup>-1</sup> )                                    | 8,70  |
| Preço do kWh de consumo no horário de ponta (R\$ kWh <sup>-1</sup> )                    | 0,792 |
| Preço do kWh de consumo no horário fora de ponta (R\$ kWh <sup>-1</sup> )               | 0,139 |
| Percentual do gasto com consumo no horário de ponta em relação ao consumo fora de ponta | 59%   |

Fonte: CPFL (2005)

No Quadro 4.7, é apresentado o ganho com a economia do gasto com energia elétrica anual e a venda da energia elétrica excedente, gerada na unidade armazenadora de Ituverava, com as tarifas praticadas na modalidade de tarifa horo-sazonal verde, nos valores praticados no ano 2005, para os consumidores livres (CEMIG, 2005).

Quadro 4.7. Ganho com a venda de excedentes da geração de energia

| Ganhos com a cogeração   |                |
|--|----------------|
| Considerando geração só na safra e safrinha (180 dias)           |                |
| Ganho pela venda do excedente no horário de ponta (R\$/ano)      | R\$ 15.192,14  |
| Ganho pela venda do excedente no horário fora de ponta (R\$/ano) | R\$ 82.021,20  |
| Ganho pela economia da demanda (R\$/ano)                         | R\$ 17.748,00  |
| Total  | R\$ 114.961,35 |
| Considerando geração no ano todo (360 dias)                      |                |
| Ganho pela venda do excedente no horário de ponta (R\$/ano)      | R\$ 15.192,14  |
| Ganho pela venda do excedente no horário fora de ponta (R\$/ano) | R\$ 211.604,59 |
| Ganho pela economia da demanda (R\$/ano)                         | R\$ 35.496,00  |
| Total  | R\$ 262.292,74 |

De acordo com o Quadro 4.7, para o período de safra e safrinha, a possibilidade de ganho com um sistema de cogeração seria de R\$ 114.961,35 ao ano. Este valor refere-se à venda do excedente máximo de geração de energia elétrica, cujo sistema funcionaria durante um período de 180 dias, por ano, e 24 h por dia e da economia

gerada pela economia da demanda anual da unidade armazenadora que deixaria de ser paga mensalmente. Considerando-se o ano inteiro este valor seria de R\$ 262.292,74.

O Quadro 4.8 apresenta o investimento inicial, necessário à implantação do sistema de cogeração para a produção de 215 kW de potência, não considerando o ganho devido à geração de calor residual, que será utilizado na secagem.

Quadro 4.8. Investimento inicial necessário à implantação do sistema de cogeração

|   |            |
|---|------------|
| Investimento no sistema de cogeração (US\$ kW <sup>-1</sup> ) | 1.000,00   |
| Total para geração de 215 kW (2,45 R\$ US\$ <sup>-1</sup> )   | 526.750,00 |

Para efeito de simulação, foi considerado o investimento de 1.000,00 US\$ kW<sup>-1</sup> de demanda gerada no sistema de cogeração à lenha, utilizando-se uma turbina, sendo que a eficiência global da geração de energia elétrica seria de 10%. Desta forma, o valor do investimento, adicionando-se o valor da manutenção, seria de R\$ 526.750,00 (Câmbio do dia 1 US\$ = R\$ 2,45).

#### 4.5.2. Geração distribuída em unidades armazenadoras

Na análise econômica de vida útil para o sistema proposto, deve-se considerar: (i) capacidade de investimento da unidade armazenadora; (ii) adoção ou não de uma floresta energética integrada ao ciclo de produção na cogeração; (iii) garantia de preço em condições aceitáveis para venda desta energia no mercado; (iv) variação e previsão do aumento nos gastos com energia elétrica e petróleo; (v) independência total ou parcial da necessidade de utilização dos serviços das concessionárias de energia elétrica; (vi) diversificação dos serviços oferecidos – venda de energia elétrica à concessionária e, ou ao mercado livre; (vii) preço da interligação da unidade armazenadora à linha de transmissão da concessionária de energia elétrica; (viii) definição do período do ano para produção de energia; e (ix) aquisição de mão de obra qualificada e treinamento dos funcionários.

O Quadro 4.9 apresenta os dados de entrada para análise de vida útil do sistema proposto. Nesta, simulação considerou-se: (i) o gasto total com demanda no ano, será anulado com a adoção da cogeração; (ii) o gasto com lenha, durante a safra e safrinha, no sistema de cogeração será nulo, pois seria utilizada a lenha já usada no sistema convencional; (iii) o gasto com lenha, considerando-se a geração durante o ano todo,

corresponderia a 50% do valor total, pois, na safra e na safrinha, a lenha já seria utilizada no sistema convencional; e (iv) o gasto com lenha, considerando-se a opção da criação de uma floresta energética própria, seria nulo, tanto com a geração de energia elétrica na safra e safrinha como na opção de ano inteiro.

Quadro 4.9. Dados de entrada para a análise econômica de vida útil

|  |            |
|--|------------|
| Taxa de juros (%)  | 12         |
| Vida útil (ano)  | 20         |
| Preço do kW de demanda médio (R\$ kW <sup>-1</sup> ) – 07/2005   | 8,70       |
| Preço de demanda pago à concessionária, após a interligação (R\$ kW <sup>-1</sup> )  | 26,10      |
| Valor total gasto com a demanda, após a interligação (R\$ ano <sup>-1</sup> )  | 67.588,46  |
| Preço do kWh de consumo no horário de ponta (R\$ kWh <sup>-1</sup> ) – 07/2005   | 0,792      |
| Preço do kWh de consumo no horário fora de ponta (R\$ kWh <sup>-1</sup> ) – 07/2005  | 0,139      |
| Investimento no sistema de cogeração (US\$ kW <sup>-1</sup> )  | 1.000,00   |
| Total para geração de 215 kW (taxa de câmbio = 2,45 R\$/1 US\$)  | 526.750,00 |
| Produção de lenha integrada ao sistema de cogeração própria - Ganho líquido com a produção de lenha (R\$ ha <sup>-1</sup> de lenha ano <sup>-1</sup> ) | 522,58     |
| Área necessária para produção de lenha (ha)  | 903        |
| Ganho líquido anual com a lenha produzida  | 471.890,49 |
| Preço da terra (R\$ ha <sup>-1</sup> )   | 1.000,00   |
| Custo da terra (R\$)   | 903.000,00 |
| Custo de oportunidade da terra - do 1 ao 11º ano   | 150.000,00 |
| Custo de oportunidade da terra no 12º ano  | 48.096,33  |
| Custo das mudas  | 200.000,00 |
| Preço da lenha (R\$ m <sup>-3</sup> )  | 35,00      |
| Consumo de lenha no sistema de cogeração (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )   | 2,80       |
| Gasto com lenha (R\$ ano <sup>-1</sup> ) – sem produção própria  | 790.272,00 |
| Preço da turbina, gerador e acessórios (R\$) e manutenção  | 526.750,00 |
| Considerando-se geração só na safra e safrinha   |            |
| Ganho pela venda do excedente no horário de ponta (R\$ ano <sup>-1</sup> )   | 15.192,14  |
| Ganho pela venda do excedente no horário fora de ponta (R\$ ano <sup>-1</sup> )  | 82.021,20  |
| Ganho pela economia da demanda (R\$ ano <sup>-1</sup> )  | 17.748,00  |
| Considerando-se geração no ano todo  |            |
| Ganho pela venda do excedente no horário de ponta (R\$ ano <sup>-1</sup> )   | 15.192,14  |
| Ganho pela venda do excedente no horário fora de ponta (R\$ ano <sup>-1</sup> )  | 211.604,59 |
| Ganho pela economia da demanda (R\$ ano <sup>-1</sup> )  | 35.496,00  |
| Preço de interligação a rede da concessionária de energia elétrica   | 200.000,00 |

O Quadro 4.10 apresenta os resultados da análise econômica de vida útil, para as opções em estudo.

Quadro 4.10. Análise de vida útil para o sistema proposto, considerando-se a adoção de floresta energética própria e a compra da lenha

| Índices econômicos | Floresta própria                 |                        | Sem floresta própria - com compra de lenha |                        |
|--------------------|----------------------------------|------------------------|--|------------------------|
|                    | Geração na safra e fora de safra | Geração no ano inteiro | Geração na safra e fora de safra           | Geração no ano inteiro |
| VPL (R\$)          | R\$ 754.969,83                   | R\$ 1.855.453,33       | (R\$ 1.848.623,92)                         | (R\$ 2.223.863,45)     |
| TIR (%)            | 24%                              | 44%                    | -  | -                      |
| TRC (ano)          | 4,4 anos                         | 2,4 anos               | -  | -                      |

De acordo com o Quadro 4.10, a melhor opção de investimento é a geração de energia elétrica com a opção de geração durante o ano todo com a adoção de uma floresta própria para geração de energia térmica. Nesta simulação, foi considerado o investimento para a implantação e manejo de uma plantação de eucalipto. Nesta situação, o valor presente líquido (VPL) do investimento seria de R\$ 1.855.453,33, ao final de 20 anos; Taxa interna de retorno (TIR) de 44%, bem maior que a taxa de juros adotada (12%); e Tempo de retorno de capital (TRC) de 2,4 anos, que é bem inferior à vida útil do projeto (20 anos).

O Quadro 4.11 mostra a mesma análise econômica, modificando apenas o valor da tarifa paga pela venda do excedente e da demanda, que deixaria de ser paga à concessionária de energia elétrica; portanto, o valor da tarifa seria 25% menor que no caso anterior.

Quadro 4.11. Análise de vida útil para o sistema proposto, considerando-se uma redução da tarifa de energia elétrica em 25% no preço adotado

| Índices econômicos | Geração na safra e safrinha (180 dias ano <sup>-1</sup> ) | Geração no ano inteiro (360 dias ano <sup>-1</sup> ) | Geração na safra e safrinha (180 dias ano <sup>-1</sup> ) | Geração no ano inteiro (360 dias ano <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|---|--|---|--|
|                    | Floresta própria  |  | Sem floresta própria (compra de lenha)                    |  |
| VPL (R\$)          | R\$ 666.507,55  | R\$ 1.491.870,17                                     | (R\$ 1.937.086,20)  | (R\$ 2.587.446,61)                                   |
| TIR (%)            | 23%   | 37%  | -   | -  |
| TRC (ano)          | 4,7 anos  | 2,8 anos   | Não retornável  | Não retornável                                       |

Nesta simulação, observou-se que a melhor opção de investimento continuaria sendo a opção de geração de energia elétrica, durante o ano todo, com a adoção da floresta própria com VPL de R\$ 1.491.870,17, TIR de 37% e TRC de 2,8 anos.

Embora várias opções de simulação poderiam ser apresentadas, a importância deste trabalho é, basicamente, mostrar a possibilidade de implantação de um sistema de cogeração em unidades armazenadoras, considerando que, na realidade, as unidades

armazenadoras utilizam lenha no processo de secagem. Desta forma, o sistema tradicional de utilização de energia elétrica da concessionária de energia elétrica e lenha, em uma fornalha, poderia ser substituído por um sistema de cogeração com caldeira, turbina, gerador, conversor corrente contínua – corrente alternada e um sistema de interligação à rede da concessionária de energia elétrica.

A energia excedente, produzida no processo de cogeração, poderia ser vendida para consumidores livres, para a concessionária e, quando possível, descontada em outras faturas de energia elétrica de outras unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia (CAROL), pois, esta possui mais de 20 unidades armazenadoras.

## 4.6. CONCLUSÃO

As principais conclusões desse trabalho são apresentadas a seguir.

### **Avaliação da venda de energia nos diversos cenários de venda de energia elétrica no mercado atacadista**

- O preço da energia pago na venda da energia excedente, no sistema de cogeração, tem influência direta na tomada de decisão quanto à implantação de um sistema de cogeração.
- A lucratividade do investimento caiu cerca de 20%, com a redução de 25% no preço das tarifas de energia elétrica.

### **Importância da integração do ciclo de produção da lenha visando à cogeração**

- A geração de energia elétrica com a produção própria de lenha foi decisiva na lucratividade do projeto de cogeração.
- Considerando-se a opção em que houve simulação envolvendo a produção de energia elétrica no ano inteiro (360 dias), a lucratividade decorrente da adoção de produção de lenha própria considerando os custos de implantação da floresta energética, foi cerca de 59%, em comparação com a opção de cogeração durante a safra e safrinha (180) dias.

### **Estudo da geração distribuída e a opção de interligação a rede de energia elétrica das concessionárias de energia elétrica**

- A opção da interligação à rede de energia elétrica favorece a implantação de um sistema de cogeração, porque possibilita à unidade armazenadora vender o excedente da geração de energia elétrica, a concessionária de energia elétrica ou preferencialmente, a um consumidor livre.
- Diversificação dos produtos da empresa, pois, passa a vender lenha, calor e energia elétrica.

### **Avaliação do potencial de geração de energia elétrica de algumas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlandia (CAROL)**

- O potencial de geração de energia elétrica da unidade armazenadora de Ituverava foi de 215 kW, para as condições de estudo.
- A lucratividade da melhor opção atingiu valor presente líquido (VPL) do investimento de R\$ 1.855.453,33 ao final de 20 anos; taxa interna de retorno (TIR) de 44%, bem maior que a taxa de juros adotada (12%); e tempo de retorno de capital (TRC) de 2,4 anos, que é bem inferior a vida útil do projeto (20 anos).
- Adotando-se a cogeração, além da lucratividade com a venda de energia elétrica, existe ainda o vapor de rejeito, que pode ser utilizado na secagem dos grãos.
- Independência total ou parcial da unidade do insumo energia elétrica, que não fica sujeita à variação direta nos custos de energia elétrica.

## 4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério das Minas e Energia (MME). **Balço energético nacional**. Brasília. 2004. 169 p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Tarifas horo-sazonais - manual de orientação ao consumidor**. Rio de Janeiro: CEMIG, 1998. 23 p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Tarifas para o fornecimento de energia elétrica**. <http://www.cemig.com.br> - data da consulta: 15/07/2005.

CORRÊA NETO, V. **Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, COPPE/UFRJ, 2001. 194 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ (CPFL). **Tarifas para o fornecimento de energia elétrica**. [http://agencia.cpfl.com.br/portal-servicos/paulista/taxas\\_tarifas.asp](http://agencia.cpfl.com.br/portal-servicos/paulista/taxas_tarifas.asp) - data da consulta: 15/07/2005.

FRIZZONE, J. A., SILVEIRA, S. de F. R. Avaliação e custos de projetos de irrigação. In: 1º SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA - CEMIG, Uberaba: 2000. **Anais...** s.n. v1, 1-87 p.

JANNUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. **Planejamento integrado dos recursos energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis**. 1. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 1997. 246p.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (INEE). **Geração distribuída (GD)** [http://www.inee.org.br/forum\\_ger\\_distrib.asp?Cat=forum](http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp?Cat=forum) – data da consulta: 17/07/2005.

LAPPONI, J. C. (ed.), **Avaliação de projetos e investimento: modelos em Excel**. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora Ltda, 1996. 264 p.

NÚCLEO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS (NEA). **Energia alternativa**. Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - <http://www.nea.ufma.br/fae.php> - data da consulta: 17/07/2005.

PINHEIRO, S. F. **Conservação de energia elétrica: recurso energético planejado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1, 1986. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: v.l. 3, p. 95-108.

## **Capítulo 5. ANÁLISE TÉCNICA E ENERGÉTICA DA LEGISLAÇÃO QUE REGULAMENTA A COMERCIALIZAÇÃO E QUALIDADE DE PRODUTOS AGRÍCOLAS NO BRASIL**

### **RESUMO**

No Brasil, as leis de comercialização e qualidade de produtos vegetais contemplam a organização das relações de compra e venda no mercado. Assim, vários procedimentos legais e parâmetros intrínsecos à operação de armazenamento foram predefinidos, baseando-se critérios técnicos e, em muitos casos, não levando em consideração o uso racional da energia. A Portaria nº 262, no item referente à determinação do teor de água, permitia o uso de estufa ou equipamentos, que proporcionassem um resultado similar ao da estufa para o produto soja. A Instrução Normativa nº 002 de 05 de março de 2001, no item determinação do teor de água, proibiu a utilização do aparelho de determinação do teor de água Universal, impondo a adoção de um equipamento que não possibilitasse a interferência humana na determinação do teor de água. Infelizmente, a Instrução Normativa nº 07 de 10 de setembro de 2002 (lei vigente) foi retrógrada, retirando a proibição da utilização do aparelho de determinação do teor de água Universal, que possui vulnerabilidade à fraude humana na determinação do teor de água e voltou a aceitar a determinação do

teor de água com o uso da estufa ou um equipamento que fornecesse um resultado similar ao da estufa. Em todas as Instruções Normativas, a qualidade do produto é sempre exigida. O objetivo deste trabalho foi iniciar a discussão sobre a modificação da lei e discutir a relação desta lei com programas de racionalização de energia. Os problemas de vulnerabilidade à fraude, na determinação do teor de água do produto, podem ocasionar além de prejuízo, falta de credibilidade nas operações de comercialização de grãos. As Instruções Normativas permitem o acréscimo de impurezas, grãos não classificáveis em limites percentuais predeterminados por lei. Na prática, essas situações levam a um consumo adicional de energia devido a mecanismos que transformam tanto o teor de água do produto, quanto a impureza dele em produto vendido a preço de produto agrícola, o que é permitido pela legislação, porém, em termos de conservação de energia, é inadmissível e eticamente imoral. O sistema de transporte de grãos em carretas ou vagões pode ser otimizado, aumentando-se a capacidade de transporte devido ao fato do produto estar com um teor de água superior a que ele precisaria estar para mantê-lo conservado, ou seja, estaria transportando-se “água”, que está embutido no teor de água dos grãos. No presente trabalho, pode-se concluir que a Instrução Normativa nº 002 de março de 2001, deveria, novamente vigorar. Caso a comercialização de produtos vegetais fosse feita em base seca o gasto adicional de energéticos seria diminuído no País, devido ao não reumedecimento dos produtos nas diversas cadeias produtivas do setor agroindustrial. Na análise da relação entre a inclusão de impurezas em cascata nos grãos, na comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos ao País, chegou-se a conclusão, dentre outras, que se a operação de limpeza das máquinas colhedoras fosse melhor executada no ato da colheita das culturas, o problema estaria quase completamente resolvido. Na avaliação da qualidade do produto, devido à mistura de grãos sadios com grãos que não são classificáveis, concluiu-se que é preciso evitar a mistura de produtos sadios com produtos não-classificáveis devido à possibilidade de contaminação da massa de grãos. A modificação da legislação vigente levará à correção das possíveis distorções da lei e proporcionará a conservação e utilização racional de energia, promovendo, também, a justiça na comercialização de produtos agrícolas.

**PALAVRAS-CHAVE:** comercialização de grãos no Brasil, teor de água de grãos, equipamentos para determinação do teor de água, qualidade dos grãos, racionalização de energia.

## 5.1. INTRODUÇÃO

De acordo com Brasil (2005), o agronegócio foi responsável por 33% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (US\$ 180,2 bilhões em 2004), 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros. O Brasil é um dos líderes mundiais em produção e exportação de vários produtos agropecuários. É o primeiro produtor e exportador de café, açúcar, álcool e suco de frutas e, ainda, lidera o mercado de vendas externas de soja, carne bovina, carne de frango, tabaco, couro e calçados de couro. As projeções indicam que, em pouco tempo, o país será o principal pólo mundial de produção de algodão e biocombustíveis, obtidos a partir da cana-de-açúcar e óleos vegetais. Produtos como milho, arroz, frutas frescas, cacau, castanhas, nozes, além de suínos e pescados, são destaques no agronegócio brasileiro, que emprega atualmente cerca de 17,7 milhões de trabalhadores, somente, no campo.

Para melhoria de toda a cadeia de produção e comercialização desses produtos agrícolas existem, direta ou indiretamente, vários fatores que podem contribuir, ainda mais, para a continuidade do bom desempenho do agronegócio brasileiro, tais como: (i) melhoria do manejo e conservação dos solos; (ii) melhoria genética das sementes; (iii) regulação de máquinas no plantio e colheita; (iv) adoção de irrigação e manejo de irrigação; (v) diminuição das perdas de campo e de transporte da safra; (vi) diminuição das perdas nas unidades armazenadoras; (vii) utilização de equipamentos modernos na comercialização dos produtos agrícolas; e (viii) aperfeiçoamento da legislação, que regulamenta a comercialização, armazenamento e o pré-processamento de produtos

agrícolas do Brasil. Entre estes parâmetros, dois serão abordados: a correta utilização de equipamentos de determinação do teor de água e a qualidade dos produtos agrícolas.

De acordo com a Portaria nº 262, de 23 de Novembro de 1983 (Apêndice B), existe um padrão, classificação e forma de se comercializar soja no Brasil. Esses parâmetros servem para uniformizar a comercialização da soja no Brasil, o que deveria ser seguido por todos os órgãos que comercializam grãos no Brasil (BRASIL, 2005). Esta portaria define e tipifica: (i) o que é soja; (ii) seu teor de água; (iii) matérias estranhas e, ou impurezas; (iv) grãos de soja avariados (ardidos, brotados, imaturos, chochos, mofados e danificados); (v) grãos quebrados; e (vi) esverdeados.

A norma de classificação define os limites, no sentido de determinar a qualidade da soja em grãos para a comercialização referente ao teor de água, grãos quebrados, impurezas e, ou matérias estranhas, grãos avariados, grãos esverdeados e itens de desclassificação dos grãos de soja, tais como a presença de bagas de mamona ou outras sementes venenosas.

A norma de amostragem indica como deverá ser feita e formada a amostra dos grãos de soja comercializada a granel e ensacada.

Na norma de determinação do teor de água a Portaria nº 262 (Apêndice B) contém detalhes do método a ser utilizado na determinação do teor de água dos grãos de soja, tais como: (i) a amostra isenta de matérias estranhas e, ou impurezas; e (ii) a determinação do teor de água deverá ser feita em estufa de ar até peso constante, de acordo com os métodos oficializados pelo Ministério da Agricultura conforme Portaria nº 234 de 04 de agosto de 1980, ou aparelhos que proporcionem resultados equivalentes (BRASIL, 2005).

Quanto à norma de comercialização de produtos agrícolas, sabe-se que a utilização de alguns equipamentos para determinação do teor de água de produtos agrícolas é inadmissível, não por problemas técnicos graves do equipamento, mas devido à falta de segurança e à possibilidade de fraude, durante a utilização desses equipamentos. Desta forma, liberar a escolha de um equipamento para determinação do teor de água em relação o método padrão de estufa, é um ato de irresponsabilidade na Portaria nº 262, pois “aparelhos que dão resultados equivalentes ao da estufa” não especifica parâmetros para alocação desses equipamentos e possibilita a utilização de equipamentos, que podem fornecer resultados semelhantes aos da estufa, mas, na prática, podem fornecer resultados bem diferentes aos da estufa, não por erro mecânico do equipamento, mas, pela vulnerabilidade à fraude na manipulação humana desses

equipamentos. Desta forma, a especificação de equipamentos para determinação do teor de água deveria ser mais restrita no sentido de estabelecer parâmetros, tais como: (i) tipo da leitura no equipamento - digital; (ii) apresentação da faixa de trabalho do equipamento; (iii) se o mesmo precisa de correção de temperatura ou não; e (iv) princípio de funcionamento baseado nas propriedades capacitivas ou resistivas dos produtos, e outros.

A Instrução Normativa nº 002 de março de 2001 (Apêndice C) suprimiu as falhas da escolha dos equipamentos para determinação do teor de água que deveriam ser utilizados na comercialização de produtos vegetais no Brasil. Esta Instrução Normativa aplicava-se aos seguintes produtos agrícolas: (i) algodão em caroço; (ii) algodão em pluma; (iii) alho; (iv) amendoim; (v) arroz; (vi) batata; (vii) canjica de milho; (viii) caroço de algodão; (ix) castanha do Brasil; (x) cebola; (xi) cevada industrial; (xii) ervilha; (xiii) farelo de soja; (xiv) farinha de mandioca; (xv) feijão; (xvi) kiwi; (xvii) lentilha; (xviii) maçã; (xix) milho; (xx) óleo de soja; (xxi) soja; (xxii) tomate; e (xxiii) trigo.

No entanto, outros produtos de grande importância na produção nacional, tais como o amendoim, arroz, canjica de milho, caroço de algodão, cevada industrial, ervilha, feijão, lentilha, milho, soja e trigo estavam sujeitos à determinação do teor de água em equipamentos, onde havia possibilidade de se fraudar a operação facilmente. A Instrução cita, claramente, dois medidores de teor de água, ambos da empresa GEHAKA, que antes era a única empresa fabricante do equipamento, cujo uso era obrigatório por lei, na determinação do teor de água da castanha-do-pará do Brasil, sendo o outro o determinador Universal, que deveria ser substituído por um equipamento com as seguintes características técnicas: “determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal”.

Infelizmente, a Instrução Normativa nº 002 de março de 2001 (Apêndice C) foi substituída pela Instrução Normativa nº 7 de 10 de setembro de 2002 (Apêndice D), atualmente em vigência. Esta Instrução Normativa permitiu que, na determinação do teor de água dos produtos vegetais, fosse utilizada a “Estufa ou outro aparelho que dê

resultado similar”. Os produtos atingidos por esta Instrução Normativa são: (i) amendoim; (ii) arroz; (iii) canjica de milho; (iv) caroço de algodão; (v) castanha do Brasil; (vi) cevada industrial; (vii) ervilha; (viii) feijão; (ix) lentilha; (x) milho; (xi) soja; (xii) trigo; (xiii) mamona; e (xiv) sorgo. Desta forma, a utilização do determinador do teor de água Universal continua difundida na comercialização de grão no Brasil, devido sua fácil operação, repetibilidade, precisão e, principalmente, vulnerabilidade a fraude.

Um problema técnico na determinação do teor de água é a utilização incorreta do medidor do teor de água Universal, nas unidades armazenadoras. De acordo com Bakker-Arkema et al. (1978), a faixa recomendada para utilização deste medidor é de 11 a 16% b.u., pois, é nesta faixa de teor de água que existe uma relação aproximadamente linear entre a resistividade elétrica e teor de água dos grãos. É importante lembrar que, no início da safra, grãos como o milho, por exemplo, podem chegar à unidade armazenadora com teor de água maior que 20% b.u., sendo que esta faixa de teor de água pode estar apresentando uma parcela significativa de toda a safra de milho.

Uma alternativa para verificação deste problema consiste em utilizar equipamentos de medição direta como, por exemplo, o EDABO, que é simples e barato. Seu princípio de funcionamento baseia-se na evaporação da água dos grãos imersos em óleo. Tanto a temperatura e volume de óleo quanto a altura da fonte de calor devem ser controlados (SILVA, 2000). Infelizmente, a determinação do teor de água com este equipamento requer de 15 a 30 minutos, sendo então o mesmo indicado para verificação da calibração de equipamentos.

A recepção dos grãos é uma das etapas mais importantes no sistema de armazenagem, pois, é nesta ocasião que se pode observar a qualidade inicial dos grãos, que chegaram da lavoura para o pré-processamento e posterior armazenamento (FONSECA, 2000).

Todas as Normas ou Instruções Normativas citadas, anteriormente, são unânimes em relação à qualidade do produto, quanto à avaliação de infecção por fungos ou qualquer outro patógeno. Entretanto, não é prática rotineira a utilização de análises fitopatológicas para identificação dos patógenos de campo e de armazenamento (GASGA, 1997). Com o conhecimento desses patógenos, seria possível controlar várias fontes de contaminação da massa de grãos no processo de armazenamento, tais como as amostras de contraprova da operação de classificação de grãos em algumas unidades armazenadoras, que são misturadas, posteriormente, a massa de grãos sadios.

## **5.2. OBJETIVO**

Neste trabalho, avaliou-se a proposição da modificação na legislação de comercialização de grãos de produtos vegetais vigente no Brasil, visando atingir, especificamente, as seguintes metas:

- Racionalizar o uso de energia elétrica; e
- Apresentar estudo de casos: Análise das unidades armazenadoras de Guaíra e Ituverava da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia (CAROL).

### **5.3. MATERIAL E MÉTODOS**

Foram analisados a legislação que regulamenta a comercialização e qualidade de produtos agrícolas no Brasil entre os quais se encontram: (i) Portaria nº 234 de 04 de agosto de 1980; (ii) Portaria nº 262, de 23 de Novembro de 1983; (iii) Instrução Normativa nº 002 de março de 2001; e (iv) Instrução Normativa nº 7 de 10 de setembro de 2002.

As principais análises da legislação sobre a comercialização e qualidade dos produtos agrícolas no Brasil foram: (1) Proposição de modificação na legislação brasileira de comercialização de grãos: (i) adoção da Instrução Normativa nº 002 de março de 2001; (ii) análise da relação entre a comercialização de produtos vegetais em base seca e o gasto adicional de energéticos no Brasil; (iii) análise da relação entre a inclusão de impurezas nos grãos na comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos ao País; e (2) Estudos de caso - análises técnica e energética de duas unidades armazenadoras: avaliação da qualidade do produto devido à mistura de grãos sadios com grãos que não são classificáveis.

Os estudos de casos foram realizados em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia (CAROL), Estado de São Paulo, assim como nos laboratórios de Energia e de Pré-Processamento de Produtos Vegetais, ambos pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola, assim como no Laboratório de Fitopatologia, localizados na Universidade Federal de Viçosa. A unidade armazenadora de Ituverava tem capacidade estática para armazenagem de 35.000

toneladas de grãos, armazenando soja e milho na safra agrícola e milho e sorgo na safrinha agrícola. Já a unidade de Guaira possui capacidade estática para armazenagem de 70.000 toneladas de grãos, armazenando soja e milho na safra agrícola e milho e sorgo na safrinha agrícola. Estas unidades armazenadoras possuem uma capacidade estática de secagem de  $120 \text{ t h}^{-1}$  e  $140 \text{ t h}^{-1}$ , respectivamente.

### **5.3.1 Proposição de modificação na legislação brasileira de comercialização de grãos**

Esta proposição consta dos seguintes itens: (i) adoção da Instrução Normativa nº 002 de março de 2001; (ii) análise da relação entre a comercialização de produtos vegetais em base seca e o gasto adicional de energéticos no Brasil; e (iii) análise da relação entre a inclusão de impurezas nos grãos na comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos ao País.

#### **Adoção da Instrução Normativa nº 002 de março de 2001**

Gestões devem ser feitas junto às unidades armazenadoras, aos consumidores e outros elos da cadeia de comercialização no sentido de sustentar a motivação da decisão de revogar a vigência da Instrução Normativa nº 7 de setembro de 2002 e mostrar que a exposição à fraude é muito grande, mediante a utilização do medidor do teor de água Universal, com operação manual.

Outra forma de fazer vigorar a Instrução Normativa nº 002 de março de 2001 seria por meio de ação judicial, entrando, talvez, como um mandato de segurança contra a União e provando que, com a legislação vigente, o produtor rural fica vulnerável quanto à comercialização de sua produção.

A quantidade de água, removida durante a secagem, pode ser calculada por

$$Q = \frac{U_i - U_f}{100 - U_f} m_{ti} \quad (5.1)$$

em que

- Q = quantidade de água a ser removida na secagem, %;
- $U_i$  = teor inicial de água dos grãos, % b.u.;
- $U_f$  = teor final de água dos grãos, % b.u.; e
- $m_{ti}$  = massa inicial de grãos total.

A Equação 5.1 apresenta a quantidade de água a ser removida na secagem. Em uma situação de fraude na comercialização dos grãos, esta equação pode ser utilizada para o cálculo do possível prejuízo para o produtor, no ato da entrega da produção, de cada lote à unidade armazenadora, ou a cada lote entregue pela unidade armazenadora a uma empresa de beneficiamento de grãos.

### **Análise qualitativa da relação entre a comercialização de produtos vegetais em base seca e o gasto adicional de energéticos para o País**

A determinação do teor de água em base úmida seria realizada e transformada para base seca. A partir deste instante, toda a comercialização não dependeria do teor de água do produto, considerando-se apenas o percentual de matéria seca do produto. O gasto adicional com energéticos está, intimamente, relacionado à possibilidade da venda de água ao preço de produto agrícola, razão pela qual várias carretas que poderiam estar transportando, pelo menos, 10% a mais de grãos estão transportando água, como forma de garantia de lucro na comercialização.

Haveria um período de transição de um ano, para que toda a cadeia do agronegócio se familiarizasse com a mudança da base de cálculos na comercialização dos produtos agrícolas.

Considerando a matéria dos grãos, a comercialização proporcionaria a adoção de um ágio na entrega do produto com teor de água inferior ao teor de água mínimo de recepção das unidades armazenadoras, o que normalmente não é considerado. Desta forma, haveria um incremento no preço de comercialização, caso o produto tivesse uma quantidade maior ou menor de água. A relação para a comercialização do produto com teor de água maior que o mínimo a ser entregue nas unidades armazenadoras, consideraria a possibilidade da comercialização em reais por tonelada de matéria seca do produto invés de reais por tonelada de produto, sendo que, para o teor de água abaixo do valor mínimo a ser entregue nas unidades armazenadoras, haveria um ágio para a quantidade de produto entregue.

Outra possibilidade para comercialização de grãos úmidos, limpos ou sujos seria a comercialização de grãos em reais por tonelada de água removida ou a ser removida do produto. A unidade armazenadora ofereceria, então, um serviço de secagem de acordo com o teor inicial de água do produto e cobraria por este trabalho, não impondo nenhum desconto sobre a massa de grãos entregue. Desta forma, haveria preocupação no sentido de manter o sistema de secagem otimizado.

### **Análise qualitativa da relação entre a inclusão de impurezas em cascata nos grãos na comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos para o País**

A legislação vigente permite a inclusão de um percentual predeterminado de impurezas na massa de grãos, no momento da comercialização. Por exemplo, na comercialização da soja, pode-se acrescentar até 1% de impurezas, 30% de grãos quebrados, 8% de grãos avariados e 10% de grãos esverdeados, para um teor de água de 14% de acordo com a classificação oficial. As operações de limpeza e pré-limpeza, dependem-se gastos com energia elétrica, o secador perde capacidade de secagem quando seca impurezas e tem um gasto adicional de energia térmica.

Normalmente, as máquinas de limpeza e pré-limpeza deixam o produto com um percentual de impurezas menor que aquele permitido pela legislação, no momento da armazenagem, enquanto, no momento da comercialização, são adicionadas impurezas até o nível permitido pela lei, pelas unidades armazenadoras e, ou empresas que participam do elo de comercialização desse produto.

Uma possível solução seria a determinação da granulometria da impureza e o cálculo da impureza, que determinada carga de grãos poderia atender, assim à comercialização de grãos e, conseqüentemente, não misturando, novamente, a impureza à massa de grãos, mas, ensacando a impureza na quantidade calculada e transportando, separadamente, da massa de grãos a granel ou, ainda, descartando esse material, pois, há gasto de energéticos, tais como: energia elétrica, embalagens plásticas, óleo diesel, e outros, envolvidos no transporte e beneficiamento desse material. Esta separação evitaria tanto as operações em cascata de retirada e acréscimo de impurezas na massa de grãos e conseqüentemente economia de energia, quanto a contaminação da massa de grãos e transporte desnecessário.

Outra solução seria o ajuste do preço dos produtos à quantidade de impurezas e grãos não classificáveis presentes na massa de grãos ou, ainda, valores mais restritivos deste tipo de produto.

### **5.3.2. Estudos de caso - análises técnica e energética de duas unidades armazenadoras**

#### **Avaliação da qualidade do produto devido à mistura de grãos sadios com grãos não classificáveis**

A avaliação da qualidade dos grãos foi verificada em termos da possibilidade da mistura de grãos saudáveis com grãos não classificáveis, obtidos na contraprova da operação de classificação e determinação do teor de água dos grãos na moega de recepção. Essas amostras foram coletadas em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Produtores da Região de Orlândia (Ituverava e Guaíra), para análise em laboratório.

## **5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.4.1. Proposição de modificação na legislação brasileira de comercialização de grãos**

Em geral, a modificação na legislação de comercialização de grãos de produtos vegetais, vigente no Brasil, traria basicamente: melhoria da qualidade do produto comercializado, pois, seriam reduzidos os gastos com o transporte do produto, reduzindo-se, assim, as perdas e a possível infestação de insetos, além da diminuição na aplicação de venenos e além disso, haveria economia de energia devido à comercialização em base seca, não haveria o reumedecimento da massa de produto a ser comercializada pela retirada, e pelo acréscimo de impurezas nas diversas etapas da comercialização, entre outros.

#### **Adoção da Instrução Normativa nº 002 de março de 2001**

A utilização de equipamentos, como balanças digitais, determinadores do teor de água baseados em métodos dielétricos que são encontrados no mercado, que minimizam a interferência externa do homem no processo traz uma maior lisura nas negociações de comercialização. O Quadro 5.1 mostra a relação entre um erro operacional do equipamento universal intencional, ou não, de 2,5% no teor de água e o desconto em uma carreta de milho carregada com 30 toneladas.

Quadro 5.1. Relação entre um erro operacional do equipamento de 2,5% no teor de água e o desconto em uma carreta de milho de 30 toneladas

| Situação | Teor de água real do produto (% b.u.) | Teor de água obtida com o equipamento universal (% b.u.) | Desconto do lote entregue (% b.u.) | Massa de milho (kg) |
|----------|---------------------------------------|--|------------------------------------|---------------------|
| 1        | 14,0                                  | 16,5   | 3,0                                | 898,2               |
| 2        | 11,5                                  | 16,5   | 6,0                                | 1796,4              |

O erro operacional do equipamento universal intencional, ou não, de 3,0% no teor de água de uma carreta de milho de 30 toneladas poderia causar um prejuízo médio em torno de 898,2 kg ao comercializador desses grãos. A cada 34 carretas negociadas, mantendo-se este prejuízo uma carreta de produto seria perdida por conta da utilização de um equipamento que é preciso, quando bem utilizado, mas é vulnerável à fraude. Esta situação é ainda pior, quando o negociador entrega o produto com um teor de água menor que o mínimo exigido pelo comprador ou mantenedor. Nesta situação, além de ser descontados os 3,0% do negociador, o comprador poderá acrescentar água ao produto, por exemplo, por meio da aeração, vendendo o produto com o teor de água de mercado. Neste caso, o comprador ficará com o lucro sob 6,0% do produto entregue, o que representaria 1.796,4 kg de produto em uma carreta de 30 t.

O Quadro 5.2 mostra a relação entre um erro operacional do equipamento universal intencional, ou não, de 2,5% no teor de água e o desconto na operação de expedição do produto armazenado para as duas unidades armazenadoras de Guaira e Ituverava com capacidade estática de armazenagem total de 100.000 t de grãos.

Quadro 5.2. Relação entre um erro operacional do equipamento de 2,5% no teor de água e o desconto na operação de venda de 100.000 t de grãos

| Situação | Teor de água real do produto (% b.u.) | Teor de água obtida com o equipamento universal (% b.u.) | Desconto do lote entregue (% b.u.) | Massa de milho (t) |
|----------|---------------------------------------|--|------------------------------------|--------------------|
| 1        | 14,0                                  | 16,5   | 3,0                                | 2994               |

O erro operacional do equipamento universal intencional, ou não, de 3,0 % na determinação do teor de água na quantidade total de produto armazenado nas duas armazenadoras de Guaira e Ituverava de 100.000 toneladas de grãos, poderia trazer um prejuízo médio de cerca de 2994 toneladas ao comercializador dessa massa de grãos.

### **Análise qualitativa da relação entre a comercialização de produtos vegetais (grãos) em matéria seca e o gasto adicional de energéticos para o País**

Na comercialização de produtos vegetais, para efeito de venda e compra, considera-se a quantidade de água que o produto possui. Essa comercialização é feita considerando-se a base úmida, nos cálculos. A massa seca é invariável, sendo que a preocupação consiste apenas em prever a quebra técnica referente à oxidação da matéria seca dos produtos devido à respiração no processo de armazenagem. A não consideração de se ter a quantidade de matéria seca como base para comercialização dos produtos vegetais, como os grãos, tem levado atores do ramo da comercialização a utilizarem vários métodos, alguns até ilícitos, outros lícitos, porém imorais, para conseguir vantagens na comercialização. Nas unidades armazenadoras, operações como a recepção e classificação (produto úmido e sujo) e expedição (produto seco e limpo), pode-se constatar formas de burlar a lei devido à comercialização ocorrer em função da quantidade de água existente no produto.

Se a comercialização fosse feita com base na quantidade de matéria seca, a única preocupação seria manter o produto bem armazenado, evitando a perda de matéria seca, bem como a perda devido à quebra técnica. A legislação deveria prever também quais as unidades de pré-processamento e processamento da cadeia produtora poderiam, caso o processo exigisse, alterar o teor de água de um produto já secado.

### **Análise qualitativa da relação entre a inclusão de impurezas em cascata nos grãos na comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos para o País**

O Quadro 5.3 mostra a relação entre a inclusão de impurezas em cascata nos grãos, no momento da comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos para o País.

Quadro 5.3. Relação da inclusão de impurezas em cascata nos grãos na comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos

| Produto  | % de impurezas | Capacidade de secagem / transporte                                   |
|--|----------------|--|
| No campo   |                |  |
| Grão úmido e sujo no campo   | cerca de 5%    |  |
| Na unidade armazenadora  |                |  |
| Grão úmido e limpo depois de passar na máquina de pré-limpeza                                      | cerca de 2,5%  | Gasto adicional de energia térmica                                   |
| Grão seco e limpo pronto para ser armazenado   | cerca de 1%    | Gasto de energia elétrica  |
| Grão seco e sujo na expedição do produto – acréscimo de impureza                                   | cerca de 2,5%  | Gasto de energia elétrica  |
| No porto   |                |  |
| Grão seco e sujo na expedição do produto – acréscimo de impureza                                   | cerca de 2,5%  | Gasto adicional de combustível com transporte terrestre de impurezas |
| Grão seco e limpo depois de passar na máquina de limpeza – se for ficar armazenado por algum tempo | cerca de 1%    | Gasto de energia elétrica  |
| No navio   |                |  |
| Grão seco e sujo na expedição do produto – acréscimo de impureza                                   | cerca de 1,5%  | Gasto adicional de combustível com transporte marítimo de impurezas  |
| Em um outro porto no Brasil  |                |  |
| Grão seco e sujo na expedição do produto – acréscimo de impureza                                   | cerca de 1,5%  | -  |
| Grão seco e limpo depois de passar na máquina de limpeza – se for ficar armazenado por algum tempo | cerca de 1%    | Gasto de energia elétrica  |
| Indústria de processamento – Consumidor final  |                |  |
| Grão seco e sujo na expedição do produto – acréscimo de impureza                                   | cerca de 1,5%  | Gasto adicional de combustível com transporte terrestre de impurezas |
| Grão seco e limpo depois de passar na máquina de limpeza   | cerca de 1%    | Gasto de energia elétrica  |

No Quadro 5.3, apresenta-se um exemplo abrangendo desde a chegada dos produtos vegetais à unidade armazenadora até o consumidor final. Observa-se que, normalmente, é adicionada ou retiradas impurezas da massa de grãos, sendo que a operação marcante que desencadeia este processo é a limpeza que as máquinas colhedoras de grãos realizam no campo. Se esta operação for bem realizada, a possibilidade de inclusão de impurezas em cascata é praticamente nula.

Em algumas unidades armazenadoras de milho, nos Estados Unidos, não há máquinas de limpeza e pré-limpeza, sendo a operação de limpeza realizada, por gravidade, nas tubulações aéreas dos transportadores. Os grãos já veem praticamente limpos do campo.

Os gastos adicionais de energia elétrica são referentes ao funcionamento de transportadores e máquinas de pré-limpeza e limpeza de produtos vegetais. O gasto de combustíveis é referente ao gasto com óleo diesel nos transportes terrestre e marítimo.

Esta legislação de comercialização de grãos não está adequada a critérios de racionalização do uso de combustíveis e conservação de energia. Atitudes como esta levam à redução no consumo de energia, preservação de fontes naturais, aumento da capacidade de transporte, redução na necessidade de manuseio da massa de grãos em máquinas e transportadores, evitando, ainda, possíveis fontes de contaminação.

#### **5.4.2. Estudos de caso - análise técnica e energética de duas unidades armazenadoras**

##### **Avaliação da qualidade do produto devido à mistura de grãos sadios com grãos não classificáveis**

As Figuras 5.1 e 5.2 mostram os resultados de duas análises fitopatológicas, sendo uma para milho (unidade armazenadora de Ituverava – contraprova da amostragem na moega de recepção) e outra para soja (unidade armazenadora de Guaíra – contra prova da amostragem na moega de recepção). Essa análise foi feita para grãos, que não são classificáveis.

A legislação vigente permite que haja um percentual predeterminado de grãos não classificáveis na massa de grãos sadios, durante a comercialização. Esta massa de grãos não classificáveis é, normalmente, mais susceptível ao ataque de fungos, tal como ocorre com grãos ardidos.

Uma possível solução seria a determinação da granulometria dos grãos não comercializáveis e o cálculo da quantidade desses grãos não comercializáveis que determinada carga de grãos deveria ter, atendendo à legislação de comercialização de grãos, desse modo, não misturando estes grãos não classificáveis com a massa de grãos sadios, mas ensacando-os na quantidade calculada e transportando-os separadamente, da massa de grãos sadios. Esta separação evitaria a proliferação de patógenos de campo e de armazenamento, durante a comercialização de produtos vegetais.



|  |   |                                       |
|--|---|---------------------------------------|
| Remetente: Carlos<br>Endereço: DEA, UFV<br>Cidade/ Estado Viçosa, MG<br>CEP: 36570-000 | Espécie:<br>Soja (Glycine max)<br>grãos | Amostra Recebida:<br>Data de Análise: |
|--|---|---------------------------------------|

| AMOSTRA 1                 | AMOSTRA 2                 | AMOSTRA 3                 |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Aspergillus glaucus 15%   | Aspergillus glaucus 8%    | Aspergillus glaucus 17%   |
| Aspergillus melleus 22%   | Aspergillus melleus 12%   | Aspergillus melleus 22%   |
| Aspergillus ochraceus 54% | Aspergillus ochraceus 61% | Aspergillus ochraceus 31% |
| Aspergillus flavus 39%    | Aspergillus flavus 42%    | Aspergillus flavus 9%     |
| Aspergillus niger 22%     | Aspergillus niger 22%     | Aspergillus niger 22%     |
| Penicillium spp. 15%      | Penicillium spp. 28%      | Penicillium spp. 19%      |
| Rhizopus sp 13%           | Rhizopus sp 18%           | Rhizopus sp 23%           |
| Tricothecium roseum 53%   | Tricothecium roseum 41%   | Tricothecium roseum 23%   |

#### Comentário

Todos os grãos de soja das três amostras são visivelmente deteriorados por fungos. Análise micológica demonstrou um estágio muito avançado de deterioração, que já comprometeu qual quer uso destes grãos seja para extração de óleo, fabricação de ração etc. Há múltipla colonização de grão i.e. um único grão esta colonizado por mais de uma espécie de fungo. A gama de fungo encontrada, sugere armazenamento com alta umidade (>18%) por período prolongado. Em todas as amostras há esporulação abundante destes fungos (em média  $10^7$  /grão) que pode representar risco à saúde de trabalhadores manuseando este produto.

**Análise é válida única e exclusivamente para as amostras enviadas.**

Analisado por

Onkar D. Dhingra, Ph. D., Prof.  
Departamento de Fitopatologia  
Universidade Federal de Viçosa

Figura 5.1. Análise fitopatológica para o produto soja.

De acordo com o resultado da análise destas amostras, em hipótese alguma esses grãos de soja poderiam ser misturados e armazenados junto à massa de grãos sadios no graneleiro, pois, além da contaminação dos outros grãos, poderia ainda ocorrer a contaminação das pessoas que manusearam os grãos, bem como dificuldades técnicas na limpeza desse lote de grãos contaminado.

A Figura 5.2 apresenta o resultado da análise fitopatológica do milho. Na análise de milho, amendoim e outros produtos do gênero, uma grande preocupação refere-se à formação de toxinas, entre elas a aflatoxina, que é a mais temida devido o mal que ela faz à saúde dos seres vivos.



|  |                        |   |
|--|------------------------|---|
| Remetente: Carlos<br>Endereço: DEA, UFV<br>Cidade/ Estado Viçosa, MG<br>CEP: 36570-000 | Espécie:<br>Milho grão | Data de análise 15 a 28de<br>agosto de 2004 |
|--|------------------------|---|

| AMOSTRA 1                | AMOSTRA 2               | AMOSTRA 3                |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Aspergillus glaucus 13%  | Aspergillus flavus 6%   | Aspergillus glaucus 22 % |
| Aspergillus flavus 1%    | Aspegillus niger 1%     | Penicellium spp. 8%      |
| Penicillium spp. 1%      | Penicllium spp. 4%      | Fusarium garminarium 75% |
| Fusarium graminiarum 83% | Fusarium graminarum 28% | Leveduras 25%            |
| Levedura 22%             | Leveduras 45%           |                          |
|                          | Bacterias 13%           |                          |

### Comentário

Todos os grãos de milho das três amostras são visivelmente deteriorados por fungos sendo que o fungo visível ao olho nu é *Aspergillus flavus*, produtoras de Aflatoxinas. Análise micológica demonstrou, que o cresemnetomde *A. flavus* porenquanto é superficial, sendo que os tecidos internos de pericarpo ainda não foram colonizados. Grande ocorrência de *Fusarium graminearum* demonstra posooibillidade de ocorrência de deoxinivalenol (vomitoxina) e de zearalenona. A grande presença de leveduras e de bactéria (amostra 2) demonstra estagio muito avançado de deterioração, que já comprometeu qual quer uso destes grãos. Há múltipla colonização de grão i.e. um único grão colonizado por mais de uma espécie de fungo. Os tipos de fungos encontrados, sugerem armazenamento com alta umidade (>20%) por periodo prolongado, que permitiu a continuação de crescimento de *F. graminarum* nos grãos e proliferação de *A. flavus* nos tecidos externos, que ao longo que tempo passará a colonizar os tecidos internos, substituindo o *F. graminearum*. Em todos as amostra há esporulação abundante deste fungo (em media  $10^6$  /grão) que pode representar risco à saúde de trabalhadores manuseando este produto.

**Análise é válida única e exclusivamente para as amostras enviadas.**

Analisado por

Onkar D. Dhingra, Ph. D., Prof.  
Departamento de Fitopatologia  
Universidade Federal de Viçosa

Figura 5.2. Análise fitopatológica para o produto milho.

Conforme a Figura 5.2, para o milho existe uma preocupação a mais, que é a formação de micotoxinas. As análises mostram a formação de micotoxinas na parte externa do grão, o que é grave e, possivelmente, com o decorrer do tempo, passaria para o interior do milho, constituindo, assim, a consolidação da inutilidade do grão e a possibilidade de problemas de saúde decorrentes da ingestão desses grãos. Em hipótese

alguma, esses grãos poderiam ser misturados e armazenados junto à massa de grãos sadios no graneleiro, pois, além da contaminação de outros grãos, poderia haver também a contaminação das pessoas, que manusearam esses grãos.

Devido a legislação permitir a inclusão de um percentual predeterminado de grãos não classificáveis, abrem-se precedentes para a ocorrência de abusos em favor da manutenção ou aumento da margem de lucro das empresas, que comercializam grãos. Desta forma, a população como consumidor final adquire alimentos de péssima qualidade, não sabendo realmente o que está consumindo.

## 5.5. CONCLUSÃO

As principais conclusões desse trabalho são apresentadas a seguir.

### **Adoção da Instrução Normativa nº 002 de março de 2001**

- Sugere-se que volte a vigorar a Instrução Normativa nº 002 de março de 2001, que obriga que a determinação do teor de água seja feita por meio de aparelhos que, apresentem laudo automático do teor de água, a fim de aumentar a confiabilidade desta operação e, portanto, reduzir o risco de fraude.
- Necessidade da utilização de balança digital com, no mínimo, duas casas decimais e precisão de 0,5 g.

### **Análise da relação entre a comercialização de produtos vegetais em matéria seca e o gasto adicional de energéticos para o País**

- A comercialização de grãos, tendo como base a matéria seca, possibilitará a racionalização no uso da infra-estrutura de transporte.

### **Análise da relação entre a inclusão de impurezas em cascata nos grãos na comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos ao País**

- Propõe-se que a legislação, que trata dos níveis de impureza permitida na comercialização de grãos, seja mais restrita, como ocorre em vários países. Estas medidas, relativamente simples de serem implementadas, permitem melhoras

significativas nas práticas operacionais, visando à melhor qualidade do produto pré-processado e armazenado.

- Há um grande gasto de energia adicional com inclusão e exclusão de impurezas na massa de grãos, relativos a operação extra de máquinas de limpeza e de pré-limpeza, secadores e transporte rodoviário e marítimo destas impurezas de no mínimo, o percentual permitido pela legislação vigente.
- A operação de limpeza das máquinas colhedoras precisa ser mais bem executada, durante a colheita das culturas, seja pela melhor regulagem das máquinas e, ou pelo treinamento da mão de obra emprega na realização deste trabalho.

#### **Avaliação da qualidade do produto devido à mistura de grãos sadios com grãos não classificáveis**

- Propõe-se que não seja permitido que se misture a massa de grãos às amostras de contraprova da operação de recepção na moega de recepção.
- Deve-se fazer a análise fitopatológica periódica, para o controle de patógenos de campo e de armazenamento.

## 5.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) - Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Informações gerenciais**. <http://www.conab.gov.br> 2005. Data da consulta: 28/07/2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) - Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Portaria nº 262, de 23 de novembro de 1983**. <http://www.conab.gov.br> 2005. Data da consulta: 28/07/2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) - Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Instrução Normativa nº 002 de março de 2001**. <http://www.conab.gov.br> 2005. Data da consulta: 28/07/2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) - Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Instrução Normativa nº 7 de 10 de setembro de 2002**. <http://www.conab.gov.br> 2005. Data da consulta: 28/07/2005.

BAKKER-ARKEMA, F. W., BROOK, R. C.; HALL, C. W. **Drying Cereal Grains**. Westport, AVI, 1978. 265.

FONSECA, H. **Prevenção e controle de micotoxinas em produtos agrícolas**. Boletim técnico nº 7, 2000. p 1- 4. <http://www.micotoxinas.com.br/Boletim7.htm>. Data da consulta: 04/2005.

GASGA - GRUPO DE ASSISTÊNCIA SOBRE SISTEMAS RELACIONADOS COM GRÃOS APÓS COLHEITA. **Micotoxinas em grãos**. Folheto técnico nº 3. Países Baixos. 1997. p 1-7.

SILVA, J. de S., (Ed.). **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. 500 p.

## 6. CONCLUSÃO GERAL

Este estudo abrangeu a racionalização do uso de energia em unidades armazenadoras. Foram focalizados: (i) avaliação energética e de custo em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos; (ii) racionalização do uso de energia elétrica, em unidades armazenadoras; (iii) soluções energéticas aplicadas a unidades armazenadoras; e (iv) análises técnica e energética da legislação concernente à comercialização e qualidade de produtos agrícolas no Brasil. Demonstrou-se o grande potencial de economia de energia mecânica, térmica e elétrica, existente nas unidades armazenadoras, sugerindo-se ainda algumas soluções energéticas para agregação de valor à operação de secagem, bem como correções nas leis sobre comercialização e qualidade de produtos agrícolas trariam lisura nas operações e uma grande economia de energia para o País.

### **6.1. Avaliação energética e de custo em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos**

O experimento foi realizado em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlândia, Estado de São Paulo, nas cidades de Guaíra e Ituverava, com capacidade de secagem de 140 e 120 t h<sup>-1</sup>, respectivamente. O estudo abrangeu: (i) as linhas de fluxo das unidades armazenadoras; (ii) a importância da separação das linhas de fluxos de grãos nas moegas de recepção; (iii) o processo de secagem de milho em dois secadores do tipo torre de fluxos mistos de 60 t h<sup>-1</sup>,

considerando-se a secagem em lotes. No processo de secagem foram monitorados, a cada 30 minutos, no máximo - temperatura na câmara de secagem, resfriamento e exaustão, temperatura do grão na câmara de secagem, temperatura e umidade do ar ambiente, teor inicial e final de água do produto com determinadores de teor de água pelo método direto (Edabo) e indireto (Motonco e Universal), temperatura de chama da fornalha, vazão de ar, tempo de secagem, consumo de lenha na secagem de um lote; e (iv) avaliação do custo de secagem. Conclui-se que, em ambas as unidades armazenadoras, vários aspectos estudados mostraram-se passíveis de melhorias técnicas que, se implementadas, representarão uma diminuição de custos substanciais para as unidades armazenadoras em estudo. São eles: (i) as linhas de fluxo de produtos; (ii) separação das linhas de fluxo de produtos; (iii) comparação da temperatura dos grãos medida na câmara de secagem e os valores recomendados pela literatura técnica; e (iv) custo de secagem, considerando-se o reaproveitamento de ar no processo de secagem e não considerando a opção de reaproveitamento de ar no processo de secagem.

## **6.2. Racionalização do uso de energia elétrica em unidades armazenadoras de pré-processamento de grãos**

O experimento foi realizado em duas unidades armazenadoras da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlandia (CAROL), Estado de São Paulo, nas cidades de Guaíra e Ituverava com capacidade de secagem de 140 e 120 t h<sup>-1</sup>, respectivamente. Foram estudados: (1) uso de equipamentos eficientes – adequação de força motriz; (2) análise da categoria e isolamento dos motores elétricos; (3) adequação tarifária; (4) adequação da iluminação; e (5) qualidade de energia. Para o uso de equipamentos eficientes – adequação de força motriz em ambas as unidades armazenadoras comprovou-se que o investimento nessas tecnologias é viável, economicamente, no horizonte de planejamento de 10 anos. Para a análise da categoria e isolamento dos motores elétricos observou-se que, em ambas as unidades armazenadoras, os motores funcionavam com a especificação de conjugado não recomendada para as funções especificadas e com a classe de isolamento recomendada para as atividades desenvolvidas dentro de certos parâmetros. Para a adequação tarifária, foi observado que a demanda de contrato, a ser implementada, poderia ser inferior à atual praticada em ambas as unidades armazenadoras, indicando um grande potencial de economia com a

escolha da demanda de contrato. Para adequação da iluminação, observou-se um potencial de economia geral médio de 50%, com a adoção de equipamentos eficientes. Para a qualidade de energia, observou-se que o desequilíbrio e amplitude de tensão não influenciaram, significativamente, o desempenho dos motores elétricos. Demonstrou-se que a escolha econômica do condutor para alimentação de motores elétricos deverá atender não somente aos critérios de corrente máxima admissível e queda de tensão, mas, também aos seguintes parâmetros: número de horas de funcionamento anual; comprimento do circuito; potência nominal do motor e fator de serviço e custos unitários de tarifa (consumo e demanda), sendo economicamente viável considerar o decréscimo no rendimento de motores elétricos como um fator auxiliar na decisão de aumentar a bitola do condutor alimentador. De acordo com o exposto, a racionalização de energia elétrica em unidades armazenadoras é importante para redução de gastos com energia elétrica.

### **6.3. Soluções energéticas aplicadas a unidades armazenadoras**

Com o objetivo de apontar soluções energéticas, no sentido de tornar as unidades armazenadoras mais independentes, energeticamente, da concessionária de energia elétrica e de oscilações do mercado, realizou-se um estudo na unidade armazenadora de Ituverava -SP da Cooperativa dos Agricultores da Região de Orlandia (CAROL). A capacidade de secagem desta unidade armazenadora é de  $120 \text{ t h}^{-1}$ . Foram considerados: (i) os padrões de consumo sazonais de energia elétrica, ou seja, consumo no período de safra e safrinha; (ii) diferentes tipos de sistema de cogeração; e (iii) custos de interligação. As principais conclusões deste trabalho foram: (i) o preço da energia pago na venda da energia excedente, no sistema de cogeração, influi diretamente na tomada de decisão quanto à implantação de um sistema de cogeração (ii) a geração de energia elétrica com a produção própria de lenha foi decisiva para a lucratividade do projeto de cogeração; (iii) houve lucratividade devido à adoção da produção de lenha própria, considerando os custos de implantação da floresta energética, em comparação com a opção de cogeração com compra de lenha no período de safra e safrinha; (iv) a opção de interligação da rede de energia elétrica favorece a implantação de um sistema de cogeração, porque oferece opção à unidade armazenadora de vender o excedente da geração de energia elétrica; (vii) diversificação dos produtos da empresa; (viii) o potencial de geração de energia elétrica da unidade armazenadora de Ituverava foi de

215 kW, para as condições em estudo; (ix) a lucratividade da melhor opção de cogeração mostrou-se viável, economicamente, no período de vida útil do investimento; (x) além da lucratividade com a venda da energia elétrica, existe ainda o vapor de rejeito, que pode ser utilizado na secagem dos grãos; e (xi) haveria a independência total ou parcial da unidade do insumo energia elétrica, pois, não ficaria sujeita a variação direta nos custos de energia elétrica das concessionárias.

#### **6.4. Análise técnica e energética sobre a legislação que trata da comercialização e qualidade de produtos agrícolas no Brasil**

O objetivo deste trabalho foi introduzir uma discussão sobre a modificação da lei e discutir a relação desta com programas de racionalização de energia e qualidade de grãos. Conclui-se, para a adoção da Instrução Normativa nº 002 de março de 2001 do Ministério da Agricultura, que: (i) deveria haver a utilização de equipamentos para determinação do teor de água, baseados na propriedade dielétrica dos grãos; (ii) deveria haver o prazo máximo de um ano para voltar a vigorar a proibição da utilização do aparelho Universal; e (iii) aconselha-se a utilização de um equipamento que apresente, a cada determinação do teor de água, um laudo automático, isento de manipulação humana no processo de determinação do teor de água contendo informações relacionadas à determinação do teor de água. Para a análise da relação entre a comercialização de produtos vegetais em base seca e o gasto adicional de energéticos para o País obteve-se: possibilidade de aumento do transporte unitário de grãos, em todos os meios de transporte; e economia de combustíveis e energia. Para a análise da relação entre a inclusão de impurezas em cascata nos grãos na comercialização dos produtos de origem vegetal e o gasto adicional de energéticos para o País, concluiu-se: (i) há um grande gasto de energia adicional com inclusão e exclusão de impurezas na massa de grãos, relativos as operações adicionais de máquinas de limpeza e de pré-limpeza, secadores e transporte rodoviário e marítimo destas impurezas, que é proporcional aos percentuais de impurezas permitidos pela legislação vigente; (ii) existe redução na capacidade de secagem e na capacidade dos sistemas de transporte terrestres e marítimos; e (iii) a operação de limpeza das máquinas colhedoras requer melhor execução, durante a colheita das culturas. Para avaliação da qualidade do produto, analisando-se a mistura de grãos sadios com grãos não classificáveis, concluiu-se: deve-se proceder à análise fitopatológica periódica para o controle de patógenos de campo e

de armazenamento; e os resultados da análise fitopatológica da soja mostram que a qualidade do produto é prejudicada pela adição das amostras de contraprova da operação de classificação na moega de recepção. A modificação da legislação vigente corrigirá as distorções da lei e proporcionará a conservação e utilização racional de energia, promovendo, também, uma maior justiça na comercialização de produtos agrícolas.

## **7. APÊNDICES**

## **7.1. APÊNDICE A**

### **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA.**

#### **GABINETE DO MINISTRO.**

#### **PORTARIA Nº. 845 DE 08 DE NOVEMBRO DE 1976.**

**APROVA AS ESPECIFICAÇÕES PARA A PADRONIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO INTERNA DO MILHO.**

O MINISTRO DE ESTADO DA AGRICULTURA, usando da atribuição que lhe confere o artigo 39, Ministério da Agricultura, item VIII, do Decreto-lei nº 200, de 25 de fevereiro de 1967 e tendo em vista o disposto no artigo 1º do Decreto nº 69.502, de 05 de fevereiro de 1971.

**RESOLVE**

Art.1º. Aprovar as Especificações para a Padronização, Classificação e Comercialização Interna do Milho.

Art.2º Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação, revogando a Portaria nº 391 de 19 de junho de 1975.

**ALYSSON PAULINELLI**

Especificações para a padronização, classificação e comercialização interna do milho (*Zea mays L.*), aprovadas pela portaria ministerial nº. 845 de 08 de novembro de 1976, em observância ao disposto no artigo 39, Ministério da Agricultura, item VIII, do

Decreto-lei nº. 200, de 25 de fevereiro de 1.976 e tendo em vista o disposto no artigo 1º do decreto nº. 69.502, de 05 de novembro de 1971.

### DA PADRONIZAÇÃO

Art. 1º - O milho sob a forma de grãos, destinado à comercialização interna, será classificado em grupos, classes e tipos, segundo sua consistência, coloração e qualidade.

### DOS GRUPOS

Art. 2º - o milho, segundo a sua consistência será classificado em 4 (quatro) grupos:

- a) DURO - quando apresentar o mínimo de 95% (noventa e cinco por cento), em peso, com as características de duro.
- b) MOLE - quando apresentar o mínimo de 90% (noventa por cento), em peso, com as características de mole;
- c) SEMIDURO - quando apresentar o mínimo de 75% (setenta e cinco por cento) em peso, de consistência semidura, intermediária entre duro e mole;
- d) MISTURADO - quando não estiver compreendido nos grupos anteriores, especificando-se no "certificado de classificação" as percentagens da mistura de outros grupos.

### DAS CLASSES

Art. 3º - O milho, segundo a sua coloração, será ordenado em 3(três) classes:

- a) AMARELO - constituído de milho que contenha no mínimo 95% (noventa e cinco por cento), em peso, de grãos amarelos, amarelo pálido e/ou amarelo alaranjados. Os grãos de milho amarelos com ligeira coloração vermelha ou rósea no pericarpo serão considerados amarelos, não afetando a classificação;
- b) BRANCO - constituído de milho que contenha no mínimo 95% (noventa e cinco por cento), em peso, de grãos brancos. Os grãos de milho branco com ligeira coloração rósea, marfim e /ou palha, serão considerados como milho branco, não afetando a classificação;
- c) MESCLADO - constituído de milho que não se enquadre nas exigências das classes de milho branco e do amarelo mencionando-se no "certificado de classificação" a percentagem das classes que o compõe.

### DOS TIPOS

Art. 4º - O milho, segundo a sua qualidade, será classificado em 3 (três) tipos:

TIPO 1 - constituído de milho seco, são, de grãos regulares e com teor de água máximo de 14,5%.

Tolerância - máxima de 1,5 % de matérias estranhas impurezas e fragmentos; 11 % de grãos avariados, com máximo de 3% de grãos ardidos e brotados (percentagem em peso);

TIPO 2 - constituído de milho seco, são de grãos regulares e com teor de água máximo de 14,5%;

Tolerância - máximo de 2% de matérias estranhas impurezas e fragmentos; 18% de grãos avariados, com máximo de 6% de grãos ardidos e brotados (percentagem em peso);

TIPO 3 - constituído de milho seco, são, de grãos regulares e com teor de água máximo de 14,5%.

Tolerância - máximo de 3% de matérias estranhas impurezas e fragmentos; 27% de grãos avariados, com máximo de 10% de grãos ardidos e brotados (percentagem em peso).

#### ABAIXO DO PADRÃO

Art. 5º - o milho que pelas suas características não se enquadrar em nenhum dos tipos descritos no artigo 4º será classificado como abaixo do padrão, desde que se apresente em bom estado de conservação.

Parágrafo 1º - o milho assim classificado poderá, conforme o caso, ser submetido à re-beneficiamento, para efeito de se enquadrar num dos tipos do artigo 4º.

Parágrafo 2º. - Deverão constar do certificado de classificação, os motivos que deram lugar à denominação de abaixo do padrão.

#### DESCLASSIFICADO

Art. 6º. - Será desclassificado todo o milho que apresente:

- a) mau estado de conservação;
- b) aspecto generalizado de mofo e ou fermentação
- c) sementes de mamona ou outras que possam ser prejudiciais à utilização normal do produto;
- d) odor estranho, de qualquer natureza, impróprio ao produto, prejudicial à sua utilização normal.

Parágrafo único - serão declarados no certificado de classificação, os motivos que deram lugar à desclassificação.

#### DA AMOSTRAGEM

Art. 7º - A retirada ou extração de amostra, será feita de acordo com a regulamentação em vigor e do seguinte modo:

1- Nos lotes de milho ensacado, far-se-á a retirada de amostra por furação ou calagem, no mínimo em 10% (dez por cento), sendo os sacos escolhidos ao acaso, sempre representando a "expressão média do lote e numa proporção mínima de 30 (trinta) gramas de cada saco";

2- A amostra de milho armazenado a granel, será extraída nas seguintes proporções:

a) Se a quantidade for inferior a 100 (cem) toneladas, far-se-á uma retirada de 20 (vinte) quilogramas;

b) quantidades superiores a 100 (cem) toneladas far-se-á uma retirada de 15 (quinze) quilogramas, para cada série de 100 (cem) toneladas ou fração.

3- As amostras assim extraídas serão homogeneizadas, reduzidas e divididas em 3 (três) ou mais partes, com o peso de um quilograma para cada parte, devidamente identificadas, destinando-se 2 (duas) vias ao classificador e 1 (uma) ao interessado, sendo fornecida ainda, quando solicitado, 1(uma) via ao comprador ou armazenador.

Parágrafo único - O excedente da amostra deve ser devolvido ao proprietário do produto.

#### DA EMBALAGEM DO ARMAZENAMENTO E DO TRANSPORTE

Art. 8º - O milho quando não comercializado a granel deve ser acondicionado em sacos de aniagem ou similar, limpos, resistentes e com peso e tamanho uniforme.

Art. 9º. Os estabelecimentos destinados ao armazenamento do milho e os meios para o seu transporte, deverão oferecer segurança e condições técnicas imprescindíveis à sua perfeita conservação, respeitadas as exigências da regulamentação específica.

#### DOS CERTIFICADOS DE CLASSIFICAÇÃO

Art. 10 - Os certificados de classificação, serão emitidos pelos órgãos oficiais de classificação, devidamente credenciado pelo Órgão Técnico competente do Ministério da Agricultura.

Parágrafo único - Deverá constar do certificado de classificação:

- a) nome do interessado;
- b) nome do destinatário;
- c) natureza do produto;
- d) natureza da embalagem;
- e) quantidade de volumes;

- f) pesos, bruto e líquido;
- g) declaração da safra (ano agrícola);
- h) grupo, classe e tipo;
- i) procedência e destino;

Art. 11 - Quando no milho for verificada a presença de carunchos e/ ou demais insetos vivos, prejudiciais ao produto, deverá constar, obrigatoriamente, no certificado de classificação, a observação "insetos vivos".

#### DAS FRAUDES

Art. 12 - Será considerado "fraude", toda alteração dolosa de qualquer ordem ou natureza, praticada não só na classificação, acondicionamento e no arquivamento das amostras, como também no documento da qualidade do milho.

#### DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 13 - as bases e as normas e os termos usados nas presentes especificações, assim como as características relacionadas com a qualidade do milho, deverão ser observadas e interpretadas do seguinte modo:

GRÃOS ARDIDOS - são os grãos ou pedaços de grãos que perderam a coloração ou cor característica, por ação do calor e teor de água ou fermentação em mais de  $\frac{1}{4}$  (um quarto) do tamanho do grão.

GRÃOS AVARIADOS - são considerados os grãos ou pedaços de grãos, grãos chochos, e imaturos os atacados por animais roedores e parasitas, os fermentados até  $\frac{1}{4}$  (um quarto) do tamanho do grão bem como os prejudicados por diferentes causas.

GRÃO BROTADO - são os grãos ou pedaços de grãos que apresentarem germinação visível.

GRÃOS CARUNCHADOS - são os grãos ou pedaços de grãos furados ou infestados por insetos vivos ou mortos.

GRÃOS CHOCHOS - são os grãos enrugados por deficiência de desenvolvimento.

GRÃOS QUEBRADOS - são os pedaços de grãos sadios, que ficarem retidos na peneira de crivos circulares de 5mm (cinco milímetros) de diâmetro ou 12/64.

GRÃOS REGULARES - são os grãos normalmente desenvolvidos que apresentam boas condições de maturidade e conservação

IMPUREZAS - são consideradas as do próprio produto bem como os grãos ou fragmentos de grãos que vazarem numa peneira de crivos circulares de 5mm (cinco milímetros) de diâmetro ou 12/64.

MATÉRIAS ESTRANHAS - são consideradas os grãos ou semente de outras espécies, bem como os detritos vegetais, sujidades e corpos estranhos de qualquer natureza, não oriundos do produto.

MILHO DURO - é o que apresenta quanto à sua constituição, uma quantidade de endosperma córneo maior que a amiláceo (farináceo) oferecendo forte resistência ao corte e exibindo, ao ser cortado, aspecto vítreo. Quanto à forma, é o que se apresenta predominantemente ovalado e com a coroa convexa e lisa, característica do Zea mays indurata.

MILHO MOLE - é o que apresenta, quanto à sua constituição, uma quantidade de endosperma amiláceo (farináceo), maior que a do córneo, tornando a coroa acentuadamente clara oferecendo menor resistência ao corte. Quanto à forma, é predominantemente dentado e com a coroa apresentando uma contração ou depressão/característica de zea mays indentata.

MILHO SEMIDURO - é o que possui as características intermediárias entre o mole e o duro, ou seja, constituído de grãos que quanto à conformação, apresentem-se levemente dentados, incluindo grãos ovalados com ligeira depressão na coroa (coroa branca).

PERCENTAGEM - é determinada com relação ao peso da amostra original.

PESO DA AMOSTRA - os dados para determinação da qualidade dos grãos, serão colhidos em amostras homogeneizadas de 250 (duzentos e cinquenta) gramas.

QUALIDADE - será apurada mediante a verificação do teor de água, de percentagem de grãos defeituosos, matérias estranhas e impurezas, respeitadas as tolerâncias admitidas na classificação para a determinação dos tipos.

**TEOR DE ÁGUA - será feita sobre amostra em seu estado original, determinada e em estufa de ar à temperatura de 100 a 150°C até que alcance peso constante ou em aparelho que dê resultado equivalente.**

PARÁGRAFO ÚNICO - as determinações de grupo, classe, tipo, grãos quebrados, avariados e/ou carunchados, ardidos e brotados, serão feitas, depois de terem sido separadas da amostra original, toda a matéria estranha e impureza.

Art. 14 - o milho de outras espécies ou mutações varietais, será classificado com base nas presentes especificações.

Art. 15 - o certificado de classificação será válido pelo prazo de 90 (noventa) dias, contados da data de sua emissão.

Art. 16 - Os casos omissos serão resolvidos pelo órgão técnico competente do Ministério da Agricultura.

## 7.2 APÊNDICE B

### MINISTÉRIO DA AGRICULTURA GABINETE DO MINISTRO

#### PORTARIA nº 262, de 23 de Novembro de 1983.

O Ministro de Estado da Agricultura, no uso de suas atribuições, e tendo em vista o disposto na Lei nº 6.305, de 15 de dezembro de 1975, regulamentada no Decreto nº 82.110, de 14 de agosto de 1978,

RESOLVE:

- I - Aprovar as especificações, em anexo, para a padronização, classificação e comercialização da SOJA, em grãos.
- II - Esta Portaria entra em vigor a partir de 1º de janeiro de 1984, revogadas as disposições em contrário.

ÂNGELO AMAURY STÁBILE

### NORMAS DE QUALIDADE PARA CLASSIFICAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DA SOJA EM GRÃO

#### 1. OBJETIVO

A presente norma tem por objetivo definir as características de identidade, qualidade, apresentação, embalagem e as medidas correlatas para soja *Glycine max* (L) Merrill destinada à comercialização.

2. Para efeitos desta norma, considera-se:

## 2.1. Soja

São grãos de qualquer cultivar da leguminosa *Glycine max* (L) Merrill.

## 2.2. Teor de água

Percentual de água encontrado na amostra em seu estado original.

## 2.3. Matérias Estranhas e/ou Impurezas

Todo material que vazar através de peneiras, com as seguintes características:

Espessura de chapa: 0,8 mm

Quantidade de furos: 400/100 cm<sup>2</sup>

Diâmetro dos furos: 3,0 mm ou que nela ficar retido, mas que não seja soja, inclusive vagem não debulhada.

2.3.1. A casca do grão de soja (película) retida na peneira não é considerada impureza.

## 2.4. Avariados

Grãos ou pedaços de grãos que se apresentam ardidos, brotados, imaturos, chochos, mofados ou danificados. Grãos com casca enrugada ou com alteração na cor, com desenvolvimento fisiológico completo, somente não considerados avariados se sua polpa estiver alterada.

### 2.4.1. Ardidos

Grãos ou pedaços de grãos que se apresentam, pela ação do calor e/ou teor de água, visivelmente fermentados com coloração marrom ou escura na casca e interiormente.

### 2.4.2. Brotados

Grãos que se apresentam com indícios de germinação ou germinados.

### 2.4.3. Imaturos

Grãos ou pedaços de grãos que se apresentam verdes, por não terem atingido o seu desenvolvimento completo.

### 2.4.4. Chochos

Grãos que se apresentam enrugados e atrofiados no seu desenvolvimento.

### 2.4.5. Mofados

Grãos ou pedaços de grãos que se apresentam claramente afetados por fungo.

### 2.4.6. Danificados

Grãos ou pedaços de grãos que se apresentam atacados por pragas e/ou doenças, afetados por processos de secagem ou por qualquer outra causa.

## 2.5. Quebrados

Pedaços de grãos sadios, inclusive cotilédones, que ficam retidos na peneira especificada no item 2.3.

#### 2.6. Esverdeados

Grãos ou pedaços de grãos que apresentam coloração esverdeada na casca e na polpa em decorrência de maturação forçada.

### 3. CLASSIFICAÇÃO

3.1. A classificação que visa determinar a qualidade da soja em grão será feita conforme os limites máximos de tolerância da tabela a seguir:

| Fator de Qualidade                | Padrão Básico (%) |
|-----------------------------------|-------------------|
| Teor de água                      | 14,0              |
| Grãos Quebrados                   | 30,0              |
| Impurezas e/ou Matérias Estranhas | 1,0               |
| Grãos Avariados                   | 8,0               |
| Grãos Esverdeados                 | 10,0              |

#### 3.2. Desclassificação

Será desclassificada a soja em grãos que apresentar:

3.2.1. Mau estado de conservação;

3.2.2. Aspecto generalizado de mofo e fermentada;

3.2.3. Acentuado odor estranho (ácido ou azedo) de qualquer natureza, tornando imprópria e prejudicial a sua utilização normal;

3.2.4. Bagas de mamona ou outras sementes venenosas;

3.2.4.1. No caso previsto neste item será admitido o rebeneficiamento do produto, para novo enquadramento;

3.2.5. No certificado de classificação serão declarados os motivos que deram lugar à desclassificação.

### 4. AMOSTRAGEM

4.1. A retirada ou extração de amostras será feita de acordo com a regulamentação em vigor.

4.1.1. Na soja ensacada será feita a retirada de amostras por furação ou calagem, em no mínimo 10% do lote, sendo os sacos escolhidos ao acaso, sempre representando a sua expressão média, numa proporção mínima de 30 (trinta) gramas por saco.

#### 4.1.2. Soja a granel.

4.1.2.1. Na soja transportada a granel far-se-ão amostragem em 05 (cinco) pontos diferentes do veículo retirando-se no mínimo 03 kg do produto.

4.1.2.2. Na soja armazenada a granel, serão retiradas 40 (quarenta) quilogramas para cada série de 500 (quinhentas) toneladas ou fração.

4.1.3. As amostras extraídas serão homogeneizadas, reduzidas e acondicionadas em sacos impermeáveis ou outro material que lhe confira estabilidade idêntica, em 03 (três) ou mais vias, com peso de 1 kg (um quilograma) cada, destinando-se uma ao interessado e duas ao órgão classificador, devolvendo o restante ao proprietário.

4.1.4. O peso da amostra a ser classificada será no mínimo de 250 (duzentos e cinquenta) gramas.

### 5. SEQÜÊNCIA OPERACIONAL

#### 5.1. Determinações

##### 5.1.1. Matérias estranhas e/ou impurezas

Serão determinadas através da peneira especificada no item 2.3.

##### 5.1.2. Teor de umidade

Será apurada sobre a amostra isenta de matérias estranhas e/ou impurezas e determinada em estufa de ar até peso constante de acordo com os métodos oficializados pelo Ministério da Agricultura conforme a Portaria nº 234 de 04.08.80, ou aparelhos que dêem resultados equivalentes.

##### 5.1.3. Grãos Avariados

Será determinada na amostra isenta de matérias estranhas e/ou impurezas.

##### 5.1.4. Grãos Quebrados

Serão apurados na amostra isenta de matérias estranhas e/ou impurezas e avariados, determinados através da peneira especificada no item 2.3.

### 6. EMBALAGEM

6.1. A soja ensacada deverá ser acondicionada em saco de aniagem ou outro material que confira proteção, garantia e segurança da qualidade do produto.

6.1.1. As embalagens devem ser limpas e resistentes.

6.1.2. A capacidade do saco deve comportar 50 kg (cinquenta quilogramas) de peso do produto.

## 7. CERTIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO

7.1. Os certificados de classificação serão emitidos pelo Órgão Oficial de Classificação, devidamente credenciado pelo Ministério da Agricultura, em modelo oficial e de acordo com a legislação em vigor.

7.1.1. No caso da soja de safras diferentes, prevalecerá a safra mais antiga, de acordo com os comprovantes existentes.

7.2. Os certificados de classificação serão válidos pelo prazo de 120 (cento e vinte) dias, contados da data de sua emissão.

## 8. DISPOSIÇÕES GERAIS

8.1. Os casos omissos serão resolvidos pelo Órgão competente do Ministério da Agricultura.

ÂNGELO AMAURY STÁBILE.  
Ministério da Agricultura

### 7.3 APÊNDICE C

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO**  
**SECRETARIA DE APOIO RURAL E COOPERATIVISMO**  
**INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 002, DE 05 DE MARÇO DE 2001.**

O SECRETÁRIO SUBSTITUTO DE APOIO RURAL E COOPERATIVISMO DO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO, no uso das atribuições que lhe confere o inciso III, do art. 11, do Decreto nº 3.527, de 28 de junho de 2000, e inciso IV, do art. 41, do Regimento Interno da Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo, aprovado pela Portaria Ministerial nº 575, de 8 de dezembro de 1998, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.972, de 25 de maio de 2000, no Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000, o que consta do processo nº 21000.000667/2001-71; e

Considerando a necessidade de normatizar o credenciamento previsto no art. 3º, do Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000; e

Considerando ainda a necessidade de definir os requisitos, os critérios, os procedimentos, a estrutura e as instalações exigidas, os prazos e as demais condições para o credenciamento previsto no art. 4º do Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000, resolve:

**Art. 1º** Aprovar o presente Regulamento Técnico e seus anexos para o Credenciamento de Pessoas Jurídicas autorizadas a executarem a Classificação de Produtos Vegetais, seus Subprodutos e Resíduos de Valor Econômico.

**Art. 2º** Os casos omissos e as dúvidas suscitadas na execução do Regulamento Técnico e seus anexos serão resolvidos pelo Departamento de Fomento e Fiscalização da Produção Vegetal – DFPV/SARC/MA.

**Art. 3º** Esta Instrução Normativa entra em vigor na data de sua publicação.

JULIO MARIA PORCARO PUGA

## **REGULAMENTO TÉCNICO PARA O CREDENCIAMENTO DE PESSOAS JURÍDICAS AUTORIZADAS A EXECUTAREM A CLASSIFICAÇÃO DE PRODUTOS VEGETAIS, SEUS SUBPRODUTOS E RESÍDUOS DE VALOR ECONÔMICO**

### **1. ALCANCE**

**1.1 Objetivo:** o presente Regulamento tem por objetivo estabelecer os requisitos, os critérios, a estrutura, as instalações e os prazos para o credenciamento de pessoas jurídicas de direito público ou privado, visando autorizá-las a executar, em todo território nacional, a classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico, quando destinados diretamente à alimentação humana e às operações de compra e venda do Poder Público.

**1.2** Serão autorizados a executar a classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico somente os Estados e o Distrito Federal, diretamente ou por intermédio de seus Órgãos ou Empresas especializadas, as Cooperativas Agrícolas, as Empresas ou Entidades especializadas na atividade, as Bolsas de Mercadorias, as Universidades e os Institutos de Pesquisa.

**1.1.1** Exclui-se deste Regulamento o credenciamento para fins de classificação dos produtos importados, quando da sua internalização nos portos, aeroportos, terminais alfandegados e demais postos de fronteira, cuja competência pela execução da classificação é do Ministério da Agricultura e do Abastecimento.

### **2. DEFINIÇÕES**

**2.1 Credenciamento:** é o procedimento administrativo objetivando conceder a autorização para que as pessoas jurídicas mencionadas no item 1.2. deste Regulamento executem a classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico.

**2.2 Empresa ou Entidade Especializada:** entende-se por empresa ou entidade especializada na atividade da classificação aquela que, no seu todo ou por meio de departamentos, disponha de estrutura física, de instalações, de equipamentos e de profissionais habilitados para execução de tais serviços para si ou para terceiros.

**2.3 Cadastro Geral de Classificação – CGC/MA:** é o procedimento administrativo para fins de controle e fiscalização, objetivando o registro, junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento, das pessoas físicas habilitadas e das jurídicas credenciadas a executarem a classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico.

**2.4 Classificador:** entende-se por classificador o profissional, pessoa física, devidamente habilitado e registrado no Ministério da Agricultura e do

Abastecimento, responsável pela classificação dos produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico.

- 2.5 Produtos vegetais**, seus subprodutos e resíduos de valor econômico destinados diretamente à alimentação humana: entende-se por produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico destinados diretamente à alimentação humana aqueles que, a granel ou embalados, estejam em condições de serem oferecidos ao consumidor final.
- 2.6 Posto de Serviço:** entende-se por posto de serviço a unidade física dotada de personalidade jurídica, devidamente equipada, estruturada e credenciada para a prestação dos serviços de classificação vegetal.

### **3. REQUISITOS PARA O CREDENCIAMENTO**

- 3.1** Estar devidamente constituída e contemplar em seus objetivos a prestação de serviços na área de classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico.
- 3.2** Estar devidamente registrada no Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) do Ministério da Fazenda.
- 3.3** Estar devidamente registrada no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA.
- 3.4** Dispor de Responsável Técnico pela atividade devidamente registrado no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA.
- 3.5** Dispor de classificadores habilitados e registrados pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento para a classificação do(s) produto(s) para o(s) qual(is) requer o credenciamento.
- 3.6** Dispor de laboratório próprio ou contratado, legalmente credenciados junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento, para realizar as análises físico-químicas previstas no regulamento técnico do(s) produto(s) para o(s) qual(is) requer o credenciamento.
- 3.7** Possuir instalações físicas, materiais e equipamentos adequados à classificação do(s) produto(s) para o(s) qual(is) requer o credenciamento, observando as exigências contidas no Anexo III do presente Regulamento.
- 3.8** Não possuir débitos financeiros para com o Governo Federal.

### **4. CRITÉRIOS PARA O CREDENCIAMENTO**

- 4.1** O credenciamento será concedido pelo Diretor do Departamento de Fomento e Fiscalização da Produção Vegetal – DFPV/SARC/MA, e terá validade em todo o território nacional.
- 4.2** O credenciamento será por produto e por posto de serviço, sendo sua renovação feita obrigatoriamente a cada 12 (doze) meses.
- 4.2.1** Independentemente do prazo estabelecido neste item, as pessoas jurídicas credenciadas ficam obrigadas a comunicarem, ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento, toda e qualquer alteração dos elementos informativos e documentais relativos à atividade de classificação.
- 4.2.2** O pedido de renovação do credenciamento deverá ser requerido à Delegacia Federal de Agricultura, com antecedência mínima de trinta dias da data de vencimento.
- 4.3** O credenciamento habilitará a pessoa jurídica a executar a classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico em todo

o território nacional, desde que atendidos os requisitos previstos neste Regulamento.

- 4.4** Pelo credenciamento, sua renovação e demais alterações serão cobrados emolumentos fixados pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento.
- 4.5** A solicitação do credenciamento será efetuada pelo interessado, por meio de requerimento, em formulário próprio, junto à Delegacia Federal de Agricultura da Unidade da Federação na qual estiver localizado cada posto de serviço.
- 4.6** As pessoas jurídicas credenciadas estarão sujeitas à supervisão técnica e à fiscalização quanto:
- a. às informações prestadas no ato da solicitação do credenciamento;
  - b. à execução dos serviços, no que se refere aos requisitos técnicos de instalações, sistema de controle de processos e garantia de qualidade dos serviços e produtos, bem como à expedição dos certificados por produto e por posto de serviço;
  - c. à habilitação das pessoas físicas envolvidas no processo de classificação;
  - d. ao cumprimento das disposições contidas na Lei nº 9.972, de 25 de maio de 2000, e no Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000, neste Regulamento e nos demais atos normativos.
- 4.7** A suspensão do credenciamento poderá ser efetuada por tempo determinado como medida cautelar de ação fiscal, nos termos do artigo 31 do Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000, podendo ser aplicada por produto, por posto ou por credenciada no todo de suas atividades.
- 4.8** O descumprimento das disposições contidas neste Regulamento sujeita o infrator às penalidades previstas no artigo 18 e seus parágrafos, do Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000.

## **5. PROCEDIMENTOS PARA O CREDENCIAMENTO**

- 5.1** O requerimento (Anexo I), para o credenciamento ou para sua renovação, será acompanhado dos seguintes documentos:
- a. Ficha Cadastral do Estabelecimento (Anexo II);
  - b. Relação dos produtos que pretende classificar por posto de serviço;
  - c. Relação dos materiais e equipamentos que possuem para a classificação física por posto de serviço;
  - d. Relação nominal e números de registros no CGC/MA dos profissionais habilitados para classificar os produtos, lotados em cada posto de serviço;
  - e. Cópia do Contrato Social ou Estatuto atualizados, ou Ato Jurídico de constituição;
  - f. Cópia do CNPJ, da Inscrição Estadual e do CREA;
  - g. Cópia da licença ou alvará de funcionamento emitido pela Prefeitura;
  - h. Cópia do comprovante de registro do laboratório no Ministério da Agricultura e do Abastecimento;

- i. Documento comprobatório de regularidade fiscal;
  - j. Cópia do comprovante de quitação dos emolumentos.
- 5.1.1** Na solicitação de renovação do credenciamento, serão dispensados os documentos previstos nas letras "b" até "i", desde que não tenha ocorrido alteração dos dados cadastrais, informados por ocasião do credenciamento ou de sua última renovação.
- 5.2** Os documentos apresentados pelo interessado serão instruídos na forma de processo na Delegacia Federal de Agricultura, cujos técnicos, após a lavratura do Termo de Inspeção "in loco", emitirão o parecer conclusivo quanto ao atendimento dos requisitos exigidos no item 3 deste Regulamento, encaminhando o processo ao Departamento de Fomento e Fiscalização da Produção Vegetal – DFPV/SARC/MA.
- 5.2.1** Não será constituído processo quando o interessado apresentar documentação incompleta, devendo o requerente ser formalmente orientado quanto ao suprimento de eventuais falhas.
- 5.3** O pedido de credenciamento será deferido ou indeferido pelo Diretor do DFPV/SARC/MA, após análise final pela equipe técnica da Divisão de Classificação de Produtos Vegetais – DCPV/CDV/DFPV/SARC/MA.
- 5.3.1** Quaisquer que sejam as conclusões a que alude o item 5.3, o seu resultado será comunicado ao interessado.
- 5.4** Obtido o credenciamento por produto e por posto de serviço, a pessoa jurídica receberá um número de registro que fará parte do Cadastro Geral de Classificação do Ministério da Agricultura e do Abastecimento – CGC/MA.
- 5.5** Concluído o registro, o processo retornará à Delegacia Federal de Agricultura de origem para fins de controle e fiscalização.
- 5.6** Compete ao Diretor do DFPV/SARC/MA divulgar mensalmente a relação das pessoas jurídicas credenciadas a executarem a classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico.

## **6. OBRIGAÇÕES DAS CREDENCIADAS**

- 6.1** Executar a classificação de conformidade com os padrões oficiais estabelecidos pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento;
- 6.2** Atender prontamente a solicitação de classificação apresentada pelo cliente;
- 6.3** Estabelecer e tornar público o fluxograma de operacionalização dos serviços prestados, dele constando as etapas a serem seguidas e os prazos a serem cumpridos no atendimento ao cliente;
- 6.4** Manter as amostras de arquivo, devidamente conservadas e identificadas com o lote, de forma a garantir o direito de contestação pelo cliente;
- 6.5** Promover sistematicamente a classificação de revisão para fins de controle de qualidade dos serviços;
- 6.6** Encaminhar mensalmente, à Delegacia Federal de Agricultura da Unidade da Federação, o relatório dos serviços executados informando o posto de serviço, o cliente, o produto, a qualidade e a quantidade classificada;
- 6.7** Manter arquivada toda documentação correspondente ao serviço executado, por um prazo mínimo de cinco anos;
- 6.8** Manter um banco de dados dos produtos classificados, que sirva de referência para os trabalhos de elaboração e reformulação de padrões;
- 6.9** Manter um sistema de treinamento eficiente e dinâmico dos seus profissionais;

- 6.10** Colocar, à disposição das autoridades responsáveis pela fiscalização, todas as informações e documentos relacionados com os processos de controle e de classificação, entre outros;
- 6.11** Estabelecer procedimentos de controle inter e intracredenciadas, a fim de buscar a uniformização dos critérios operacionais, a eficiência e a credibilidade dos serviços prestados;
- 6.12** Dispor de equipamentos compatíveis com as atividades executadas, devidamente aferidos e em perfeito estado de conservação e manutenção;
- 6.13** Executar a classificação exclusivamente nos postos de serviços credenciados pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento;
- 6.14** Não permitir a prestação de serviços por classificador cuja credencial esteja vencida ou que não possua habilitação legal.

### ANEXO I

REQUERIMENTO : ( ) DE CREDENCIAMENTO ( ) DE RENOVAÇÃO

Ilmo. Senhor Diretor do Departamento de Fomento e Fiscalização da Produção Vegetal  
– DFPV/SARC/MA  
Brasília/DF

\_\_\_\_\_ vem requerer a Vossa Senhoria,  
com fulcro no artigo 3º do  
(nome ou razão social)

Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000, autorização para executar a classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico, juntando, para os devidos efeitos, a documentação exigida por este Ministério, assumindo as responsabilidades pelas informações nela contida e ficando sujeito às penalidades impostas pela legislação vigente.

N. Termos

P. Deferimento.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Assinatura e carimbo do requerente)

Instruções importantes: Anexar, a este requerimento, os seguintes documentos:

- a. Ficha Cadastral do Estabelecimento;
- b. Cópia do Contrato Social ou Estatuto atualizados, ou Ato Jurídico de constituição;
- c. Cópia da licença ou alvará de funcionamento emitido pela Prefeitura;
- d. Cópia do comprovante do CNPJ, da Inscrição Estadual e do CREA;
- e. Cópia do comprovante de registro do laboratório no MA;
- f. Cópia do comprovante de pagamento do emolumento.

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO - MA**  
**ANEXO II**  
**FICHA CADASTRAL DO ESTABELECIMENTO**

|   |                      |                      |                      |                      |                      |                            |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|
| Para uso do Ministério: nº Registro no CGC/MA – Pessoa Jurídica | UF                   | Número de Registro   |                      |                      |                      | Número do Posto de Serviço |                      |                      |
|   | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/>       | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

I – CREDENCIAMENTO ( ) 1- Inicial 2 – Renovação 3 – Alteração 4 - Cancelamento

II – IDENTIFICAÇÃO: ( ) 1 – MATRIZ 2 – FILIAL

Razão Social: \_\_\_\_\_

Nome Fantasia e/ou Sigla: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ Bairro: \_\_\_\_\_

Município: \_\_\_\_\_ UF: \_\_\_\_ CEP: \_\_\_\_\_ Caixa Postal: \_\_\_\_\_

Fone(s): \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ Correio eletrônico(e-mail): \_\_\_\_\_

Responsável Técnico(R.T.) – Nome: \_\_\_\_\_ Nº de Reg. CREA: \_\_\_\_\_

Fone(s): \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ Correio eletrônico(e-mail): \_\_\_\_\_

III – LABORATÓRIO: ( ) 1 – PRÓPRIO 2 - CONTRATADO

- Razão Social: \_\_\_\_\_
- Nome Fantasia e/ou Sigla: \_\_\_\_\_
- Endereço: \_\_\_\_\_ Bairro: \_\_\_\_\_
- Município: \_\_\_\_\_ UF: \_\_\_\_ CEP: \_\_\_\_\_ Caixa Postal: \_\_\_\_\_
- Fone(s): \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ Correio eletrônico(e-mail): \_\_\_\_\_
- Responsável Técnico(R.T.) - Nome: \_\_\_\_\_ Nº de Reg. Cons. Classe: \_\_\_\_\_

- Fone(s): \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ Correio eletrônico(e-mail):  
\_\_\_\_\_

#### IV – DECLARAÇÃO:

Declaro, para os devidos fins, junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento, a veracidade das informações prestadas, bem como estar ciente das obrigações às quais estarei sujeito na execução da classificação dos produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico, de acordo com o disposto na Lei nº 9.972 de 25.05.2000, no Decreto nº 3.664, de 17.11.2000, e demais atos normativos.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de  
\_\_\_\_ (Carimbo e Assinatura do Requerente)

Apresentar, junto com a Ficha Cadastral do Estabelecimento, os seguintes anexos:

- Relação dos produtos que pretende classificar, por posto de serviço;
- Relação dos materiais e equipamentos para a classificação física, por posto de serviço;
- Relação dos nomes e números de registros no MA dos profissionais habilitados para classificar os produtos, lotados em cada posto de serviço.

### ANEXO III

#### INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS MÍNIMOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DE PRODUTOS VEGETAIS

##### 1. INSTALAÇÕES:

- 1.1 As instalações dos postos de serviço devem atender aos requisitos mínimos necessários para o bom desempenho dos serviços de classificação;
- 1.1.2 O espaço físico deve ser adequado de forma a permitir o deslocamento e a distribuição de pessoal e equipamentos e possuir luminosidade e aeração adequados à execução dos serviços.

##### 2. EQUIPAMENTOS:

###### 2.1. ALGODÃO EM CAROÇO:

- a. Régua graduada para medição de fibra;
- b. Determinador de teor de água para fibras;
- c. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- d. Mesa de classificação de cor preta fosca ou cinza escuro;
- e. Cadeira ergonômica.

###### 2.2. ALGODÃO EM PLUMA:

- a. Ar condicionado;
- b. Iluminação artificial mediante a instalação de luminárias com lâmpadas fluorescentes, para que se tenha o efeito da luz do dia, com intensidade de luz

- entre 80 e 90 lumens, aferida por meio do aparelho luxímetro, posicionado sobre qualquer ponto da mesa de classificação;
- c. A distância entre as luminárias e as paredes mais próximas, e a altura entre a luminária e a banca de classificação devem garantir a uniformidade da intensidade de luz exigida;
  - d. A tonalidade das paredes deve ser de cor cinza muito claro ou branco acinzentado (fosco);
  - e. Teto falso igual à cor das paredes;
  - f. Piso preferencialmente preto ou em cor que não interfira na classificação visual;
  - g. Móveis com a mesma cor das paredes ou pretos;
  - h. Bancada ou mesa de cor preta fosca ou cinza escuro para exposição da pluma de algodão possuindo as seguintes dimensões:
    - Comprimento mínimo de 4,00 m;
    - Largura de 0,90 a 1,00 m;
    - Altura de 0,80 a 0,90 m.
  - i. Temperatura ambiente em torno de 22°C;
  - j. Umidade relativa do ar em torno de 75%;
  - k. Altura do piso ao teto de 2,80 a 3,10 m;
  - l. Exaustores instalados a uma altura de 0,60 a 1,00 m em relação ao piso, ou de forma que se garanta a salubridade do ambiente;
  - m. Conjunto completo do Padrão Físico;
  - n. Estante ou balcão para os padrões físicos;
  - o. O uniforme do classificador deverá ser de textura leve, de preferência de algodão, na cor cinza neutra;
  - p. Equipamentos facultativos: Fibrógrafo, Shirley Analyser e HVI;
  - q. Sala de aclimação das amostras;
  - r. Sala de recepção das amostras.

### **2.3. ALHO:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. **Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;**
- d. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- e. Lacre;
- f. Estilete;
- g. Grades de classificação de 32 a 56 mm de diâmetro ou paquímetro digital.

### **2.4. AMENDOIM:**

- a. **Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização de análise de micotoxina;**
- b. Mesa de classificação individual;
- c. Cadeira ergonômica;
- d. **Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se,**

por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;

- e. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- f. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais;
- g. Caladores e sondas;
- h. Homogeneizador;
- i. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- j. Pinça com ranhuras na ponta;
- k. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- l. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- m. Lacs;
- n. Estilete.

#### **2.5. ARROZ:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- c. Cadeira ergonômica;
- d. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- e. Engenho de provas com jogo de trieur;
- f. Paquímetro digital com precisão de 0,01 mm;
- g. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- h. Peneira com crivos circulares de 1,60 mm de diâmetro;
- i. Caladores e sondas;
- j. Homogeneizador;
- k. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- l. Pinça com ranhuras na ponta;
- m. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- n. Lacs;
- o. Placas polarizadoras para classificação de arroz parboilizado.

#### **2.6. BATATA:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- c. Cadeira ergonômica;
- d. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- e. Lacs;
- f. Estilete;
- g. Grades de classificação de 33 a 85 mm de diâmetro ou paquímetro digital.

#### **2.7. CANJICA DE MILHO:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- d. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e. Caladores e sondas;
- f. Homogeneizador;
- g. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h. Pinça com ranhuras na ponta;
- i. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k. Lacres;
- l. Peneiras com crivos circulares de 5,66 mm; 4,76 mm e 4,00 mm.

#### **2.8. CAROÇO DE ALGODÃO:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- d. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e. Caladores para amostras e sondas;
- f. Homogeneizador;
- g. Quarteador;
- h. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- i. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- j. Lacres;
- k. Estilete.

#### **2.9. CASTANHA DO BRASIL:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Determinador de teor de água de castanha do Brasil – marca ~~HYGRON~~ ~~GEHAKA~~;
- d. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e. Coletor de amostras tipo PELICANO;
- f. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;

- g. Pinça de inox com ranhuras nas pontas;
- h. Bandejas receptoras para 453 gramas de frutos;
- i. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- j. Lacre;
- k. Guilhotina de mesa para corte;
- l. Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização de análise de micotoxina;

#### **2.10. CEBOLA:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- d. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- e. Lacre;
- f. Estilete;
- g. Grades de classificação de 35 a 90 mm de diâmetro ou paquímetro digital.

#### **2.11. CEVADA INDUSTRIAL:**

- a. Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização de análise de proteína e poder germinativo;
- b. Mesa de classificação individual;
- c. Cadeira ergonômica;
- d. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- e. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- f. Caladores e sondas;
- g. Homogeneizador;
- h. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- i. Pinça com ranhuras na ponta;
- j. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- k. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- l. Lacre;
- m. Estilete;
- n. Peneira com crivos oblongos de 2,20 e 2,50 mm de largura.

#### **2.12. ERVILHA:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se

por um período de doze meses após a publicação desta Instrução a utilização do determinador de teor de água universal;

- d. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e. Caladores e sondas;
- f. Homogeneizador;
- g. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h. Pinça com ranhuras na ponta;
- i. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k. Lacs;
- l. Estilete;
- m. Peneira de crivos circulares de 3,00 mm.

### **2.13. FARELO DE SOJA:**

Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização das seguintes análises:

- teor de água;
- proteína;
- gordura residual;
- cinzas;
- fibras;
- insolúveis em ácido clorídrico;
- matérias estranhas; e
- atividade ureática.

### **2.14. FARINHA DE MANDIOCA**

Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização das seguintes análises:

- teor de água;
  - acidez;
  - cinzas;
  - amido.
- a. Mesa de classificação individual;
  - b. Cadeira ergonômica;
  - c. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
  - d. Caladores e sondas;
  - e. Homogeneizador;
  - f. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
  - g. Pinça com ranhuras na ponta;
  - h. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
  - i. Embalagem para acondicionamento de amostras;
  - j. Lacs;
  - k. Peneiras ABNT n<sup>os</sup> 10, 18 e 200 com abertura de 2,0 ; 1,0 e 0,074 mm respectivamente e com diâmetro do aro de 20 cm.

### **2.15. FEIJÃO:**

- a. Mesa de classificação individual;

- b. Cadeira ergonômica;
- c. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- d. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e. Caladores e sondas;
- f. Homogeneizador;
- g. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h. Pinça com ranhuras na ponta;
- i. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k. Lacres;
- l. Estilete.

#### **2.16. KIWI:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- d. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- e. Lacres;
- f. Estilete;
- g. Refratômetro.

#### **2.17. LENTILHA:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- d. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e. Caladores e sondas;
- f. Homogeneizador;
- g. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h. Pinça com ranhuras na ponta;
- i. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k. Lacres;
- l. Estilete;
- m. Peneiras de crivos circulares de 3,00 mm, 5,00 mm e 6,00 mm de diâmetro.

### **2.18. MAÇÃ:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- d. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- e. Lacre;
- f. Estilete;
- g. Penetrômetro;
- h. Jogo de anéis calibradores de 35 a 85 mm ou paquímetro digital.

### **2.19. MILHO:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- d. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e. Caladores e sondas;
- f. Homogeneizador;
- g. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h. Pinça com ranhuras na ponta;
- i. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k. Lacre;
- l. Estilete;
- m. Peneiras com crivos circulares de 5,00 mm de diâmetro;
- n. Balança de peso hectolitro com peso padrão para calibragem e demais acessórios.

### **2.20. ÓLEO DE SOJA:**

- a. Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização das seguintes análises:
  - Densidade;
  - Índice de refração;
  - Índice de iodo;
  - Índice de saponificação;
  - Percentual de ácidos graxos saturados (mirístico, palmítico, esteárico, araquídico, behênico, lignocérico); monoinsaturados (palmitoleico e oleico); poliinsaturados (linoléico e linoléico);
  - Acidez livre;
  - Teor de água e Voláteis;
  - Matéria insaponificável;

- Índice de peróxidos;
- Cor;
- Sabões;
- Ponto de Fulgor;
- Ponto de Fumaça;
- Lecitina.

#### **2.21. SOJA:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- d. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e. Caladores e sondas;
- f. Homogeneizador;
- g. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h. Pinça com ranhuras na ponta;
- i. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k. Lacres;
- l. Estilete;
- m. Peneira com crivos circulares de 3,00 mm de diâmetro.

#### **2.22. TOMATE:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- d. Estilete;
- e. Grades de classificação com diâmetros de 40 a 100 mm.

#### **2.23. TRIGO:**

- a. Mesa de classificação individual;
- b. Cadeira ergonômica;
- c. Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- d. Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;

- e. Caladores e sondas;
- f. Homogeneizador;
- g. Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h. Pinça com ranhuras na ponta;
- i. Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j. Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k. Lacs;
- l. Estilete;
- m. Peneira com crivos oblongos nas dimensões de 1,75mm x 20,00mm, com espessura de chapa de 0,72 mm;
- n. Balança de peso hectolitro com peso padrão para calibragem e demais acessórios.

## **7.4 APÊNDICE D**

### **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO SECRETARIA DE APOIO RURAL E COOPERATIVISMO**

#### **INSTRUÇÃO NORMATIVA SARC Nº 7, DE 10 DE SETEMBRO DE 2002.**

O SECRETÁRIO DE APOIO RURAL E COOPERATIVISMO DO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, no uso da atribuição que lhe confere o inciso III, do art. 11, do Decreto nº 3.527, de 28 de junho de 2000, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.972, de 25 de maio de 2000, no Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000, e o que consta do Processo nº 21000.000667/2001-71, resolve:

Art. 1º Incluir, no Anexo III, da Instrução Normativa SARC/MAPA nº 002, de 5 de março de 2001, a relação dos equipamentos mínimos a serem utilizados na classificação do Café Beneficiado, Juta, Malva, Mamona, Sisal e Sorgo, na forma do contido no Anexo da presente Instrução Normativa.

Art. 2º Dar nova redação à alínea "c", dos itens 2.7; 2.8; 2.9; 2.12; 2.15; 2.17; 2.19; 2.21; 2.23, e à alínea "d", dos itens 2.4; 2.5 e 2.11, do Anexo III, da IN SARC/MAPA nº 002/01, as quais passarão a vigor com a seguinte redação: *Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar.*

Art. 3º Excluir a cadeira ergonômica das exigências de credenciamento contidas no Anexo III, da IN SARC/MAPA nº 002/01.

Art. 4º Esta Instrução Normativa entra em vigor na data de sua publicação.

**RINALDO JUNQUEIRA DE BARROS**

**ANEXO III**  
**INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS MÍNIMOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DE PRODUTOS VEGETAIS**

**1. INSTALAÇÕES:**

1.1. As instalações dos postos de serviço devem atender aos requisitos mínimos necessários para o bom desempenho dos serviços de classificação;

1.2. O espaço físico deve ser adequado de forma a permitir o deslocamento e a distribuição de pessoal e equipamentos e possuir luminosidade e aeração adequados à execução dos serviços

**2. EQUIPAMENTOS:**

**2.1. ALGODÃO EM CAROÇO:**

a) Régua graduada para medição de fibra;

b) Determinador de teor de água para fibras;

c) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;

d) Mesa de classificação de cor preta fosca ou cinza escuro;

e) Cadeira ergonômica

**2.2. ALGODÃO EM PLUMA:**

a) Ar condicionado;

b) Iluminação artificial mediante a instalação de luminárias com lâmpadas fluorescentes, para que se tenha o efeito da luz do dia, com intensidade de luz entre 80 e 90 lumens, aferida por meio do aparelho luxímetro, posicionado sobre qualquer ponto da mesa de classificação;

c) A distância entre as luminárias e as paredes mais próximas, e a altura entre a luminária e a banca de classificação devem garantir a uniformidade da intensidade de luz exigida;

d) A tonalidade das paredes deve ser de cor cinza muito claro ou branco acinzentado (fosco);

e) Teto falso igual à cor das paredes;

f) Piso preferencialmente preto ou em cor que não interfira na classificação visual;

g) Móveis com a mesma cor das paredes ou pretos;

h) Bancada ou mesa de cor preta fosca ou cinza escuro para exposição da pluma de algodão possuindo as seguintes dimensões

-Comprimento mínimo de 4,00 m;

-Largura de 0,90 a 1,00 m;

-Altura de 0,80 a 0,90 m

i) Temperatura ambiente em tomo de 22° C;

j) Umidade relativa do ar em tomo de 75%;

k) Altura do piso ao teto de 2,80 a 3, 10 m;

- l) Exaustores instalados a uma altura de 0,60 a 1,00 m em relação ao piso, ou de forma que se garanta a salubridade do ambiente;
- m) Conjunto completo do Padrão Físico;
- n) Estante ou balcão para os padrões físicos;
- o) O uniforme do classificador deverá ser de textura leve, de preferência de algodão, na cor cinza neutra;
- p) Equipamentos facultativos Fibrógrafo, Shirley Analyser e HVI;
- q) Sala de aclimatação das amostras;
- r) Sala de recepção das amostras.

### **2.3. ALHO:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- d) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- e) Lacs;
- f) Estilete;
- g) Grades de classificação de 32 a 56 mm de diâmetro ou paquímetro digital.

### **2.4. AMENDOIM:**

- a) Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização de análise de micotoxina;
- b) Mesa de classificação individual;
- c) Cadeira ergonômica;
- d) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- e) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- f) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais;
- g) Caladores e sondas;
- h) Homogeneizador;
- i) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- j) Pinça com ranhuras na ponta;
- k) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- l) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- m) Lacs;
- n) Estilete.

### **2.5. ARROZ:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- c) Cadeira ergonômica;

- d) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- e) Engenho de provas com jogo de trieur;
- f) Paquímetro digital com precisão de 0,01 mm;
- g) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- h) Peneira com crivos circulares de 1,60 mm de diâmetro;
- i) Caladores e sondas;
- j) Homogeneizador;
- k) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- l) Pinça com ranhuras na ponta;
- m) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- n) Lacres;
- o) Placas polarizadoras para classificação de arroz parboilizado

#### **2.6. BATATA:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- c) Cadeira ergonômica;
- c) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;
- d) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- e) Lacres;
- f) Estilete;
- g) Grades de classificação de 33 a 85 mm de diâmetro ou paquímetro digital.

#### **2.7. CANJICA DE MILHO:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- c) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;  
**(Alterado pela INT nº 7 de 10/09/2002)**
- d) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e) Caladores e sondas;
- f) Homogeneizador;
- g) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h) Pinça com ranhuras na ponta;
- i) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;

- j) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k) Lacs;
- l) Peneiras com crivos circulares de 5,66 mm; 4,76 mm e 4,00 mm.

### **2.8. CAROÇO DE ALGODÃO:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- c) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;  
**(Alterado pela INT nº 7 de 10/09/2002)**
- d) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e) Caladores para amostras e sondas;
- f) Homogeneizador;
- g) Quarteador;
- h) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- i) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- j) Lacs;
- k) Estilete.

### **2.9. CASTANHA DO BRASIL:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Determinador de teor de água de castanha do Brasil -marca HYGRON -GEHAKA.
- c) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;  
**(Alterado pela INT nº 7 de 10/09/2002)**
- d) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e) Coletor de amostras tipo PELICANO;
- f) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- g) Pinça de inox com ranhuras nas pontas;
- h) Bandejas receptoras para 453 gramas de frutos;
- i) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- j) Lacs;
- l) Guilhotina de mesa para corte;
- m) Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização de análise de micotoxina;

### **2.10. CEBOLA:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;

- d) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- e) Lacs;
- f) Estilete;
- g) Grades de classificação de 35 a 90 mm de diâmetro ou paquímetro digital.

#### **2.11. CEVADA INDUSTRIAL:**

- a) Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização de análise de proteína e poder germinativo;
- b) Mesa de classificação individual;
- c) Cadeira ergonômica;
- d) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- e) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- f) Caladores e sondas;
- g) Homogeneizador;
- h) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- i) Pinça com ranhuras na ponta;
- j) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- k) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- l) Lacs;
- m) Estilete;
- n) Peneira com crivos oblongos de 2,20 e 2,50 mm de largura

#### **2.12. ERVILHA:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- c) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;  
**(Alterado pela INT nº 7 de 10/09/2002)**
- d) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais; com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e) Caladores e sondas;
- f) Homogeneizador;
- g) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h) Pinça com ranhuras na ponta;
- i) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j) Embalagem para acondicionamento de amostras;

- k) Lacs;
- l) Estilete;
- m) Peneira de crivos circulares de 3,00 mm.

### **2.13. FARELO DE SOJA:**

Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização das seguintes análises:

- teor de água;
- proteína;
- gordura residual;
- cinzas;
- fibras;
- insolúveis em ácido clorídrico;
- matérias estranhas; e
- atividade ureática.

### **2.14. FARINHA DE MANDIOCA**

Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização das seguintes análises:

- teor de água;
  - acidez;
  - cinzas;
  - amido
- a) Mesa de classificação individual;
  - b) Cadeira ergonômica;
  - c) **Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;**
  - d) Caladores e sondas;
  - e) Homogeneizador;
  - f) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
  - g) Pinça com ranhuras na ponta;
  - h) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
  - i) Embalagem para acondicionamento de amostras;
  - j) Lacs;
  - k) Peneiras ABNT nº 10, 18 e 200 com abertura de 2,0; 1,0 e 0,074 mm respectivamente e com diâmetro do aro de 20 cm.

### **2.15. FEIJÃO:**

- a) Mesa de classificação individual;
  - b) Cadeira ergonômica;
  - c) **Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;**
  - c) **Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;**
- (Alterado pela INT nº 7 de 10/09/2002)**

d) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;

e) Caladores e sondas;

f) Homogeneizador;

g) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;

h) Pinça com ranhuras na ponta;

i) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;

j) Embalagem para acondicionamento de amostras;

k) Lacs;

l) Estilete

2.16. KIWI:

a) Mesa de classificação individual;

b) Cadeira ergonômica;

c) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;

d) Embalagem para acondicionamento de amostras;

e) Lacs;

f) Estilete;

g) Refratômetro

### 2.17. LENTILHA:

a) Mesa de classificação individual;

b) Cadeira ergonômica;

c) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;

c) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;

(Alterado pela INT nº 7 de 10/09/2002)

d) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;

e) Caladores e sondas;

f) Homogeneizador;

g) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;

h) Pinça com ranhuras na ponta;

i) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;

j) Embalagem para acondicionamento de amostras;

k) Lacs;

l) Estilete;

m) Peneiras de crivos circulares de 3,00 mm, 5,00 mm e 6,00 mm de diâmetro.

### 2.18. MAÇÃ:

a) Mesa de classificação individual;

b) Cadeira ergonômica;

c) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;

- d) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- e) Lacs;
- f) Estilete;
- g) Penetrômetro;
- h) Jogo de anéis calibradores de 35 a 85 mm ou paquímetro digital

### **2.19. MILHO:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- c) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;
- (Alterado pela INT nº 7 de 10/09/2002)
- d) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e) Caladores e sondas;
- f) Homogeneizador;
- g) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h) Pinça com ranhuras na ponta;
- i) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k) Lacs;
- l) Estilete;
- m) Peneiras com crivos circulares de 5,00 mm de diâmetro;
- n) Balança de peso hectolitro com peso padrão para calibragem e demais acessórios

### **2.20. ÓLEO DE SOJA:**

- a) Laboratório próprio ou contratado registrado junto ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento para realização das seguintes análises:
  - Densidade;
  - Índice de refração;
  - Índice de iodo;
  - Índice de saponificação;
  - Percentual de ácidos graxos saturados (mirístico, palmítico, esteárico, araquídico, behênico, lignocérico); monoinsaturados (palmitoleico e oleico); poliinsaturados (linoléico e linolênico);
  - Acidez livre;
  - Teor de água e Voláteis;
  - Matéria insaponificável;
  - Índice de peróxidos;
  - Cor;
  - Sabões;
  - Ponto de Fulgor;
  - Ponto de Fumaça;

- Lecitina.

### **2.21. SOJA:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- c) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;  
**(Alterado pela INT nº 7 de 10/09/2002)**
- d) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e) Caladores e sondas;
- f) Homogeneizador;
- g) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h) Pinça com ranhuras na ponta;
- i) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k) Lacs;
- l) Estilete;
- m) Peneira com crivos circulares de 3,00 mm de diâmetro.

### **2.22. TOMATE:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- d) Estilete;
- e) Grades de classificação com diâmetros de 40 a 100 mm.

### **2.23. TRIGO:**

- a) Mesa de classificação individual;
- b) Cadeira ergonômica;
- c) Determinador de teor de água cujo princípio de medição baseia-se nas propriedades dielétricas do grão, leitura digital, com pesagem automática de amostra, com compensação automática de temperatura e teor de água, painel alfanumérico com instruções em língua portuguesa, execução automática de autoteste, permitindo acoplamento em equipamento de informática. Admite-se, por um período de doze meses após a publicação desta Instrução, a utilização do determinador de teor de água universal;
- c) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;  
**(Alterado pela INT nº 7 de 10/09/2002)**
- d) Balança eletrônica de precisão; com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- e) Caladores e sondas;

- f) Homogeneizador;
- g) Quarteador com no mínimo 16 canaletas;
- h) Pinça com ranhuras na ponta;
- i) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- j) Embalagem para acondicionamento de amostras;
- k) Lacs;
- l) Estilete;
- m) Peneira com crivos oblongos nas dimensões de 1,75 mm x 20,00 mm, com espessura de chapa de 0,72 mm;
- n) Balança de peso hectolitro com peso padrão para calibragem e demais acessórios.

**1 - Equipamentos mínimos para a classificação e degustação de Café Beneficiado**

- a) Mesa ou bancada ou móvel similar para a classificação física e mesa rotativa para provas de xícara;
- b) Banco ou cadeira para a mesa de classificação física e para a mesa de provas de xícara;
- c) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- d) Balança eletrônica de precisão que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;**
- e) Jogos de peneiras de números 10 a 20 para os cafés "chatos" e de 08 a 13 para os cafés "mocas";
- f) Descascador;
- g) Calador;
- h) Determinador de teor de água;
- i) Torrador;
- j) Moinho;
- l) Bandejas metálicas com local para o cartão de identificação e capacidade aproximada de 300 gramas de café;
- m) Xícaras, em louça ou pirex transparente, com capacidade para 100 ou 150ml;
- n) Fogão e Chaleiras;
- o) Colheres em forma de conchas, em prata ou aço inoxidável;
- p) Cuspideira;
- q) Prateleiras ou arquivo para guarda de amostra;
- r) Latas para amostra;
- s) Suprimento de água adequada aos testes;
- t) Coifa com instalação de exaustores;
- u) Cartolinas pretas, medindo 50 x 40 centímetros, etiquetas e lacs;

**2 - Equipamentos mínimos para a classificação da Fibra de Juta, Malva e Sisal**

- a) Determinador de teor de água para fibras;
- b) Régua graduada, trena ou metro para medição da fibra.

**3 - Equipamentos mínimos para a classificação de Mamona**

- a) Mesa ou bancada para classificação;
- b) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;**
- c) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;
- d) Caladores e sondas;
- e) Homogeneizador e quarteador;

- g) Pinça;
- h) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
- a) Embalagem para acondicionamento de amostras e lacres;

**4 - Equipamentos mínimos para a classificação de Sorgo**

- a) Mesa ou bancada para classificação;
  - b) Estufa ou outro aparelho que dê resultado similar;**
  - c) Balança eletrônica de precisão, com painel digital que utilize, no mínimo, duas casas decimais, com capacidade de pesagem adequada ao produto;**
  - d) Caladores e sondas;
  - e) Homogeneizador e quarteador;
  - g) Pinça;
  - h) Luminária de mesa dotada de lâmpadas frias;
  - i) Embalagem para acondicionamento de amostras e lacres;
  - l) Peneiras com crivos circulares de 2,2 mm de diâmetro.
- (Itens incluídos pela Instrução Normativa nº 7 de 02/09/2002)