

MARCOS CALDEIRA RIBEIRO

ESTUDO SOBRE A RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA NA
IRRIGAÇÃO

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

MARCOS CALDEIRA RIBEIRO

ESTUDO SOBRE A RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA NA
IRRIGAÇÃO

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

APROVADA: 17 de julho de 2003.

Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(Conselheiro)

Prof. José Márcio Costa

Prof. José Helvecio Martins

Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro

Prof. Delly Oliveira Filho
(Orientador)

Aos meus pais Fenelon Ribeiro e
Clarice Caldeira Ribeiro.
À minha esposa Silvana Maria Novais Ferreira Ribeiro.
Aos meus filhos Larissa e Henrique.
Aos meus irmãos Teófilo José Ribeiro (*in memoriam*),
Hilton Caldeira Ribeiro, Clara Fenelon de Souza e
Carlice Fátima de Souza.

AGRADECIMENTO

A Jesus Cristo, que intercede junto ao Pai o caminho da minha vida.

À minha querida esposa, que sabe o significado da esperança, do amor, da dignidade e da fé.

Aos meus filhos, pela graça, pelo carinho e pela paz.

Aos meus queridos pais e aos meus irmãos, pela minha vida, pela minha formação e pela compreensão.

Ao professor Delly Oliveira Filho, pela orientação, pela amizade e pelo incentivo.

Aos meus conselheiros Everardo Chartuni Mantovani, Antônio Alves Soares e Haroldo Carlos Fernandes, pelas sugestões.

Ao Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós – DIPIM, ao gerente Paulo Henrique de Araújo e aos funcionários Isaías, Dermivaldo, Cesário e Valdemar Molongo, pelo auxílio no desenvolvimento desta pesquisa.

À Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF, de Brasília, DF, em especial ao Departamento de Operação e Manutenção, pelo apoio.

Aos meus amigos e companheiros da área de Energia na Agricultura, pela união e pela auto-estima.

Aos meus colegas Carlos Alberto Teixeira e Ricardo Petrillo Sampaio, pelas discussões das formulações das pesquisas.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade dos conhecimentos adquiridos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola Joel, Edna, Marcos, José Galinari e José Mauro, pelo entusiasmo, pela dedicação, pela agilidade e competência em suas funções.

Aos meus colegas, amigos e irmãos em Cristo, pelo incentivo, pelo apoio e pelo sucesso.

Aos benfeitores desta nação que acreditam no ensino, na pesquisa e nas entidades educacionais como prova de um futuro grandioso para os nossos filhos.

BIOGRAFIA

MARCOS CALDEIRA RIBEIRO, filho de Fenelon Ribeiro e Clarice Caldeira Ribeiro, nasceu no dia 6 de julho de 1955, em Patrocínio, Minas Gerais.

Em julho de 1985, formou-se em Engenharia Agrícola pela Escola Superior de Agricultura de Lavras – ESAL, atualmente Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Estagiou na 1ª Superintendência Regional da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco – 1ª S.R. CODEVASF, em Montes Claros, Minas Gerais, no período de janeiro de 1986 a janeiro de 1987. Teve a oportunidade de conhecer, de perto, os trabalhos da empresa em todos os perímetros em funcionamento na época. Na região de Januária, Minas Gerais, ajudou no Projeto Sertanejo no desenvolvimento de trabalhos técnicos para dimensionamento da irrigação em pequenas propriedades rurais e na extensão rural.

No ano de 1987, foi classificado para fazer o curso de Especialização em Engenharia de Irrigação, do Programa Nacional de Irrigação – PRONI, Governo da Espanha e Universidade Federal de Brasília (UnB), em Brasília, Distrito Federal.

Em 1988, fez o curso de “Operacion, Mantenimiento y administracion de los Sistemas de Conduccion de Água para Riego”, no Centro Internacional de

Irrigação, em Utah Stat University, nos Estados Unidos, com visita técnica em perímetros irrigados nos Estados de Utah, Arizona e Califórnia.

Em 1994, especializou-se em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade de Engenharia de Agrimensura de Minas Gerais – FEAMIG, em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Em 1988, trabalhou no perímetro irrigado da Cooperativa do Médio São Francisco – COMESF, em Barreiras, Bahia; em 1989, na implantação de novas áreas irrigadas, nos perímetros irrigados de Pinheiro e São Bernardo, ambos no Maranhão, e Parnaíba, no Piauí; entre 1989 e 1992, no perímetro irrigado de Estreito, COOPERE, Espinosa, Minas Gerais; em 1997, no gerenciamento do perímetro irrigado de Pirapora, Minas Gerais, pela Associação dos Usuários do Perímetro Irrigado de Pirapora – AUPPI; nos anos de 1997 e 1998, como responsável pela implantação da operação e manutenção do perímetro irrigado de Mirorós, Ibipeba, Bahia; em 1999, como responsável pela implantação da operação e manutenção do perímetro irrigado de Guadalupe, PI; e em 2000, como gerente do perímetro irrigado de Formoso "A", Bom Jesus da Lapa, Bahia.

Em agosto de 2001, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola, na área de Energia na Agricultura, da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2003.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xx
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
AMPLIAÇÃO DO HORÁRIO DE INCENTIVO TARIFÁRIO PARA A IRRIGAÇÃO NOTURNA E OS CUSTOS DA ENERGIA ELÉTRICA	6
RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVO	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. Adequação de bombas centrífugas	13
3.2. Adequação da força motriz	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5. CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

	Página
OTIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE HORAS DE FUNCIONAMENTO EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	26
RESUMO	26
1. INTRODUÇÃO	28
2. OBJETIVOS	31
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Determinação da potência e do rendimento dos motores.....	32
3.2. Avaliação econômica dos sistemas estudados.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Determinação da potência e do rendimento dos motores.....	37
4.2. Avaliação econômica dos sistemas estudados.....	39
5. CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS FATORES DE SEGURANÇA APLICADOS AO DIMENSIONAMENTO DE MOTOBOMBAS PARA IRRIGAÇÃO UTILIZANDO MOTORES DE ALTO RENDIMENTO	54
RESUMO	54
1. INTRODUÇÃO	56
2. OBJETIVOS.....	64
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	65
3.1. Análise técnica.....	65
3.2. Análise econômica	70
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1. Análise técnica.....	72
4.2. Análise econômica	77
5. CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA EM UMA ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA NO PERÍMETRO IRRIGADO DE MIRORÓS, BAHIA	83
RESUMO	83
1. INTRODUÇÃO	84

	Página
2. OBJETIVOS	88
3. MATERIAL E MÉTODOS	89
3.1. Metodologia para adequação de bombas centrífugas	90
3.2. Metodologia para adequação da força motriz	92
3.3. Técnica de gerenciamento do uso da água	96
3.4. Enquadramento tarifário	97
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
4.1. Adequação de bombas centrífugas	101
4.2. Adequação da força motriz	104
4.3. Técnica de gerenciamento do uso da água	110
4.4. Adequação tarifária	112
5. CONCLUSÃO	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
2. CONCLUSÃO GERAL	119
APÊNDICES	122
APÊNDICE A	123
APÊNDICE B	127
APÊNDICE C	135
APÊNDICE D	137

LISTA DE QUADROS

	Página
ARTIGO 1	
1. Descontos no preço da energia elétrica para irrigação aplicáveis às tarifas de consumo correspondente ao subgrupo e à modalidade tarifária a que pertencer a unidade consumidora	9
2. Opções tarifárias do Grupo A	12
3. Análises técnica e econômica do uso de energia elétrica para sistemas de irrigação de 10 hectares e desconto tarifário de 67% em relação à lâmina de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia ⁻¹ e pressões de 196, 392 e 588 kPa (20, 40 e 60 mca) para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h	16
4. Economia anual com energia elétrica para sistemas de irrigação de 10 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia ⁻¹ e pressões de 196, 392 e 588 kPa para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h	18
ARTIGO 2	
1. Rendimento das bombas e motores de alto rendimento (AR) e convencional (CO), em função do número de horas de funcionamento anual, da área irrigada e da pressão manométrica, para uma lâmina de água para irrigação de 5 mm.dia ⁻¹	40

2. Consumo anual, demanda e custos da água bombeada por meio da utilização de motores de alto rendimento e convencional em áreas de 2 e 10 ha, para pressões manométricas de 196, 294, 392 e 490 kPa, em função do número de horas de funcionamento anual dos motores (500, 1.000, 1.500, 2.000 e 2.500 h) para tarifa verde	48
3. Índices econômicos de motores de alto rendimento (AR) em relação aos convencionais (CO), para uma área de 2 ha, com taxas de juros de 8% ao ano, aumento da energia acima da inflação de 2%, custos de manutenção de 1% e um horizonte de planejamento de 10 anos	51
ARTIGO 3	
1. Menores valores exigidos de rendimento nominal a plena carga de motores da linha convencional e de alto rendimento.....	63
2. Valores do fator de serviço e acréscimos na potência demandada no eixo de bombas hidráulicas em função da potência nominal e do número de pólos de motores elétricos.....	69
3. Potência de motores para acionamento de bomba e folga percentual, considerando-se somente o fator de serviço (método 1) e o fator de serviço e o dimensionamento indicados pela literatura (método 2).....	73
4. Características técnicas de bombas e de motores elétricos otimizados com e sem acréscimos na potência demandada pela bomba, em função da vazão, para pressão de 196 kPa (20 mca) ...	74
5. Características técnicas de bombas e de motores elétricos otimizados com e sem acréscimos na potência demandada pela bomba, em função da vazão, para pressão de 392 kPa (40 mca) ...	75
6. Comparação dos gastos com energia elétrica, nos dois métodos propostos, com o uso de motores a uma pressão de 392 kPa (40 mca) e 4.000 horas de funcionamento anual	78
7. Variação dos preços entre motores de 2 e de 4 pólos.....	79
ARTIGO 4	
1. Panorama da área irrigada em alguns países e percentual dessa área irrigada sobre o total de área cultivada.....	85
2. Vazão contínua por método de irrigação	87

	Página
3. Características das bombas da Estação de Bombeamento EP1.....	90
4. Dados técnicos gerais da Estação de Bombeamento EP1	93
5. Características dos motores da Estação de Bombeamento EP1	94
6. Opções tarifárias para o Grupo A.....	99
7. Características do conjunto motobomba 1 da Estação de Bombeamento EP1 com vazão nominal de $411 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ e pressão manométrica de 980 kPa (100 mca).....	101
8. Características do conjunto motobomba 1 da EP1 com vazão de trabalho atual de $500 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ e pressão manométrica de 980 kPa (100 mca).....	102
9. Características do conjunto motobomba 2 da EP1 para vazão nominal de $300 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ e pressão manométrica de 980 kPa (100 mca).....	102
10. Correntes de dois motores da Estação de Bombeamento EP1 do Perímetro Irrigado de Mirorós	105
11. Levantamento de dados para realização da análise econômica de motores elétricos da Estação de Bombeamento EP1 do Perímetro Irrigado de Mirorós	106
12. Análise econômica com a opção mais vantajosa de troca entre os motores analisados com relação ao motor de 220,8 kW (300 cv) para a mesma bomba	107
13. Análise econômica com a opção mais vantajosa de troca entre os motores analisados pelo motor de 184 kW (250 cv), para melhor opção de troca	107
14. Análise do potencial de economia de energia global com adequação do conjunto motobomba 1 da EP1	109
15. Análise do potencial de economia de energia global com adequação do conjunto motobomba 2 da EP1	109
16. Custo da energia em cada situação de carga dos conjuntos motobombas 1 e 2	111
17. Características técnicas dos motores e tarifas energéticas horosazonais de irrigação	113

1B. Economia anual de energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de irrigação (2; 5 e 7) mm.dia ⁻¹ e pressão (20; 40 e 60) mca para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h.....	127
2B. Economia anual de energia elétrica em sistemas de irrigação de 5 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de irrigação (2; 5 e 7) mm.dia ⁻¹ e pressão (20; 40 e 60) mca para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h.....	129
3B. Economia anual de energia elétrica em sistemas de irrigação de 50 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de irrigação (2; 5 e 7) mm.dia ⁻¹ e pressão (20; 40 e 60) mca para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h.....	131
4B. Economia anual de energia elétrica em sistemas de irrigação de 100 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de irrigação (2; 5 e 7) mm.dia ⁻¹ e pressão (20; 40 e 60) mca para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h.....	133
1C. Índices econômicos para motores de alto rendimento (AR) em relação aos motores convencionais (CO), para área de 5 ha, com taxas de juros de 8%, aumento da energia acima da inflação de 2%, manutenção de 1%, e um horizonte de planejamento para 10 anos.....	135
2C. Índices econômicos para motores de alto rendimento (AR) em relação aos motores convencionais (CO), para área de 10 ha, com taxas de juros de 8%, aumento da energia acima da inflação de 2%, manutenção de 1%, e um horizonte de planejamento para 10 anos.....	136
1D. Consumo e custo de energia da estação EP1, utilizando valores atuais para os anos de 2000, 2001 e 2002 para tarifa convencional	137
2D. Consumo e custo de energia da estação EP1, utilizando valores atuais para os anos de 2000, 2001 e 2002 para tarifa azul.....	139
3D. Consumo e custo de energia da estação EP1, utilizando valores atuais para os anos de 2000, 2001 e 2002 para tarifa verde	141

LISTA DE FIGURAS

	Página
ARTIGO 1	
1. Curvas características típicas de motor elétrico.....	14
2. Custos anuais com energia elétrica para sistemas de irrigação para 50 ha, em razão de a lâmina de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia ⁻¹ e a pressão de 196, 392 e 588 kPa (20; 40 e 60 mca) serem o dimensionamento em função do número de horas de incentivo à irrigação noturna (6, 8,5 e 6 h, funcionando 8,5 h).....	19
3. Economia percentual na conta de energia de diferentes tamanhos de áreas agrícolas, em função da otimização das motobombas pela diferença no número de horas de incentivo tarifário, em diferentes lâminas de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia ⁻¹ e distintas pressões 196, 392 e 588 kPa (20, 40 e 60 mca).....	20
4. Diferença média na comparação dos incentivos tarifários para irrigação conforme a região do País	21
ARTIGO 2	
1. Curvas características típicas de motor elétrico.....	33
2. Rendimento de bombas e motores elétricos de alto rendimento em sistemas de irrigação localizada de 2 ha, com lâmina de água para irrigação de 5 mm.dia ⁻¹ e pressão de 196 kPa (20 mca), em função do número de horas de funcionamento anual	38

3. Rendimento de bombas e de motores elétricos de alto rendimento em sistemas de irrigação por aspersão convencional de 2 ha, com lâmina de água para irrigação de 5 mm.dia ⁻¹ e pressão de 392 kPa (40 mca). em função do número de horas de funcionamento anual	38
4. Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia ⁻¹ e pressão de 196 kPa (20 mca), com motores de alto rendimento e convencional	43
5. Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia ⁻¹ e pressão de 392 kPa (40 mca), para motores elétricos de alto rendimento e convencional.....	43
6. Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2, 5 e 10 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia ⁻¹ e pressão de 196 kPa (20 mca), com motores elétricos de alto rendimento.....	44
7. Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2, 5 e 10 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia ⁻¹ e pressão de 392 kPa (40 mca), com motor elétrico de alto rendimento	44
8. Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia ⁻¹ e pressões de 196, 294, 392 e 490 kPa (20, 30, 40 e 50 mca), para motores elétricos de alto rendimento	45
9. Gastos anuais com energia elétrica (consumo, demanda e total) para irrigação, de uma área de 2 ha, com pressões de 196 kPa (20 mca) e lâmina de água de 5 mm.dia ⁻¹ , com motores elétricos de alto rendimento	47
10. Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia ⁻¹ e pressão de 392 kPa (40 mca), com motores de alto rendimento	47

ARTIGO 3

1. Efeito do desequilíbrio da tensão sobre as correntes de um motor de indução trifásico	59
2. Influência da variação da tensão sobre o desempenho de um motor de indução trifásico.....	60
3. Curva do fator de redução da potência disponível no eixo	61
4. Curvas características típicas de motor elétrico.....	68

ARTIGO 4

1. Curvas características típicas da bomba hidráulica	91
2. Curvas características típicas de motor elétrico.....	95
3. Preço da água no perímetro irrigado, considerando-se apenas o custo do consumo de energia elétrica em função do número de irrigantes	113
1A. Portaria nº 105, de 3 de abril d 1992 – DNAEE.....	123
2A. Resolução nº 277, de 19 de julho de 2000.....	125
3A. Resolução nº 540, de 1º de outubro de 2002	126

RESUMO

RIBEIRO, Marcos Caldeira, M. S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2003. **Estudo sobre a racionalização do uso de energia na irrigação.** Orientador: Delly Oliveira Filho. Conselheiros: Everardo Chartuni Mantovani, Antônio Alves Soares e Haroldo Carlos Fernandes.

Nos anos 70, o aumento significativo do preço do petróleo gerou uma crise energética de dimensões mundiais. A crise mudou a concepção do modelo de expansão do sistema elétrico e do planejamento do setor como um todo. A partir de então, surgiu a abordagem de planejamento que integrou o sistema elétrico do lado da demanda e do suprimento de energia. Passou-se a considerar a eficiência energética, ou seja, a forma como a energia é utilizada, especialmente na demanda, caracterizando a *Eficiência do uso da energia* como *Conservação de energia*. Os projetos públicos, conhecidos como Perímetros Irrigados, foram largamente implantados nos anos 70 e 80. Os projetos englobaram não somente as infra-estruturas diretas dos sistemas de irrigação, mas também obras imprescindíveis, como estradas, hospitais e escolas, que adicionaram montantes significativos aos investimentos realizados. Assim, a necessidade da operação racional dos sistemas implantados é ainda maior, tendo em vista a amplitude do investimento. Toda a prioridade das políticas agrícolas nos próximos anos deve estar direcionada ao aumento de produtividade, redução de custos de produção e melhorias na

qualidade do produto final. O aumento de produtividade e a redução de custos somente serão possíveis com o estabelecimento de um padrão de gerenciamento adequadamente qualificado nas unidades produtivas, bem como adoção maciça de tecnologia e insumos capazes de tornar a exploração agrícola competitiva e rentável. Dentre as ações possíveis para a modernização da agricultura brasileira, citam-se: o uso intensivo do solo, com até três safras anuais; a utilização inteligente de máquinas, implementos e mão-de-obra; o uso de variedades apropriadas e aclimatadas; insumos e técnicas de plantio otimizadas; o uso de sistemas automatizados; e o manejo eficiente da irrigação. O trabalho desenvolvido nesta dissertação apresentou resultados favoráveis ao desenvolvimento das análises dos dimensionamentos de projetos de irrigação já implantados, possibilitando melhor gerenciamento das condições de rendimento dos conjuntos de irrigação, análise econômica, as vantagens do aumento do número de horas na jornada diária de irrigação, a utilização dos incentivos tarifários para irrigação noturna e análise do dimensionamento dos motores utilizados no bombeamento de água. O aumento do horário de incentivo tarifário para a irrigação no horário noturno em 42% vem atender às solicitações de diversas áreas da economia, como a tentativa de regularização da demanda de energia elétrica, o uso dos mananciais hídricos em períodos prováveis de menor consumo e assim contribuir para uma diminuição nos custos da produção agrícola. A otimização do número de horas de funcionamento não se restringem apenas aos aspectos econômicos como a diminuição dos gastos com energia elétrica, mas também à menor demanda instantânea de água e, ou, à possibilidade de aumento da área plantada, sem alteração da lâmina de água para irrigação a ser aplicada ou da vazão outorgada de projeto. Essa menor demanda instantânea de água representa menor pressão sobre os mananciais hídricos. Na escolha da potência de motores para bombeamento de água, será necessário rever as perdas causadas por sistemas superdimensionados, nos quais motores podem chegar a um acréscimo de 88% de sua potência útil. Este estudo preliminar favorecerá, e muito, uma diminuição dos custos iniciais de projeto, bem como os gastos com energia elétrica. O trabalho no perímetro irrigado visou economizar o consumo de energia no bombeamento de água. O caso estudado foi o Perímetro Irrigado de Mirorós, Bahia, região central, terra de caatinga. As

informações técnicas do sistema em funcionamento foram revisadas, e economia de cerca de 32% nos gastos com energia elétrica é possível. Outras medidas de economia, como mudanças na operação, turno de rega, uso de sistemas de irrigação de menor vazão e o impacto do novo horário de incentivo à irrigação noturna, poderão elevar o potencial de economia para perto de 50%.

ABSTRACT

RIBEIRO, Marcos Caldeira, M. S., Universidade Federal de Viçosa, July of 2003. **Study of energy management in irrigation.** Adviser: Delly Oliveira Filho. Committee members: Everardo Chartuni Mantovani, Antônio Alves Soares and Haroldo Carlos Fernandes.

In the 70's, the significant increase of the oil price generated a world-wide energy crises. This crises changed the concept of the electrical system extension model and of the planing sector as a whole. Since then, a planing approach appeared which integrated the electrical system in both, the energy demand and the energy supply sides. The energy efficiency started to be considered, that is, the way in which it is used, specially in the demand, characterizing the *Energy use efficiency* as an *Energy conservation*. The public projects, known as the Irrigated Perimeters, were widely implanted in the 70's and 80's years. The projects encompassed not only the irrigation systems direct infra-structure, but also other necessary ones like roads, hospitals and schools, which increased significant amounts to the investments done. Thus, the necessity of the rational operation of the implanted systems is even greater, considering the investment amplitude. All the agricultural politics priorities in the coming years must be directed towards the productivity increase, production costs decrease, and improvements of the final product quality. The productivity increase and the costs decrease will only be possible with the establishing of a

management pattern suitably qualified in the productive units, as well as a massive adoption of technology and inputs capable of transforming the agricultural exploration into something competitive and profitable. Within the possible actions to modernize the Brazilian agriculture there are: the intensive soil use, with up to three crops a year; the intelligent use of implements and workers; the use of appropriate and acclimatized variables; optimized inputs and planting techniques; the use of mechanical systems; and the efficient irrigation managing. The work developed in this paper, showed favorable results for the development of the analyses of the irrigation projects dimensioning already implanted, a better management of the irrigation sets production, economical analyses, the advantages in the number of hours increase of the irrigation daily journey, the use of taxes incentive of night irrigation, and the dimensioning analyses of the motors used in the water pumping. The increase in the time of taxes incentive for irrigation in the night shift of 42% has met with the many requests made by different economy areas, as a try to regularize the energy demand, the hydric sources use in periods of less consume and thus contributing for the decrease in the agricultural production costs. The number of hours functioning optimization does not only restrict itself to the economical aspects, such as the decrease in the electric energy costs, but also to the smaller instant water demand, and, or, the increase in the planted area possibility, without altering the water channels for irrigation to be applied or the granted project flow. This smaller instant water demand represents a lesser pressure on the hydric sources. To choose the motors capacity for pumping water it will be necessary to review the losses caused by super-dimensioned systems in which the motors can achieve an increase of 88% of its useful power. This preliminary study will help you to decrease the projects initial cost as well as the costs with electrical energy. The job on the irrigated perimeter intended to economize the energy consume for the water pumping. The studied case was the Irrigated Perimeter of Mirorós, Bahia State, central region, land of savanna (*caatinga*). The technical information about the system in use was revised, and an economy of about 32% in the energy costs is possible. Other economical measures, such as changes in the operation, in the irrigation frequency, in the irrigation systems with smaller flow and in the new incentive time with night irrigation can elevate the economy potential up to about 50%.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A realidade de um combustível barato e farto para geração de energia acabou com a crise do petróleo da década de 70, com o aumento significativo do seu valor. O preço dos combustíveis derivados de petróleo para geração de energia elétrica tornou-se praticamente proibitivo. Naquela época, a preocupação com o gerenciamento do lado da demanda e a racionalização do uso de energia passaram a ser enfatizadas.

A crise mudou a concepção do modelo de expansão do sistema elétrico e do planejamento do setor como um todo. A partir de então, surgiu a abordagem de planejamento, que integrou opções do lado da demanda e do suprimento de energia. Além disso, procurou-se considerar, de forma integrada e com o mesmo nível de importância, o uso dos recursos naturais para geração de energia e o gerenciamento do lado da demanda. Naquela mesma época, a preocupação com a minimização de impactos ambientais decorrentes das ações do planejamento energético passou a ter importância cada vez maior (JANNUZZI e SWISHER, 1997; COSTA, 2001).

No Brasil, observou-se uma subutilização dos recursos hídricos tanto para geração de energia elétrica quanto para produção agrícola, por meio de irrigação. Essa subutilização ocorreu devido aos baixos investimentos na área, em que, mesmo nas estruturas existentes, não teve um programa de otimização da utilização destas.

Acredita-se que a falta de retorno econômico é devida, também, a uma operação deficiente das infra-estruturas dos sistemas de irrigação. Portanto, existe um espaço grande para se ampliar, em muito, a rentabilidade (seja pelo aumento da produção, seja pelo uso mais racional dos recursos disponíveis), sem a necessidade imediata de investimentos significativos. Assim, essa racionalização é uma opção possível de ser adotada, tendo em vista a situação atual, no país, de escassez de recursos para novos investimentos.

Acrescente-se a esse cenário a falta de manutenção adequada dessas estruturas, o que colabora para a predominância do baixo índice de eficiência do uso da água para irrigação e da baixa produtividade agrícola. Na maioria dos casos, esses sintomas são indicativos dos profundos problemas de gerenciamento por que passam as infra-estruturas implantadas de sistemas de irrigação.

Os perímetros irrigados, principalmente os projetos públicos, que pela sua infra-estrutura de sistema de irrigação, necessitam de uma operação racional do uso de seus recursos disponíveis para um funcionamento adequado, ou seja, além da água, a energia elétrica é indispensável na maioria dos projetos. O custo da produção dos produtos agrícolas precisa ser competitivo, favorecendo o comércio e, principalmente, o produtor rural.

Os investimentos em operação, manutenção, qualificação tecnológica e extensão têm sido relegados a segundo plano com relação à implantação de novos projetos. Essa falta de prioridade dificulta a solução do problema, que é a otimização econômica de toda a infra-estrutura implantada.

Até o ano de 1996, os perímetros irrigados no Brasil vinham sendo administrados integralmente por organismos públicos, porém, a partir desse ano, os projetos foram repassados para a administração dos próprios agricultores, para se organizarem e serem auto-suficientes técnica e economicamente, ficando o organismo público na ação de apoio, supervisão e controle da eficiência funcional (EFFERTZ et al.,1993).

O aumento de produtividade e redução de custos somente serão possíveis com o estabelecimento de padrões de gerenciamento adequadamente qualificado nas unidades produtivas, adoção maciça de tecnologia e insumos capazes de tornar a exploração agrícola competitiva e rentável. Dentre as ações possíveis para a modernização da agricultura

brasileira, citam-se: (i) o uso intensivo do solo, com até três safras anuais; (ii) a utilização inteligente de máquinas, implementos e mão-de-obra; (iii) o uso de variedades apropriadas e aclimatadas; (iv) insumos e técnicas de plantio otimizadas; (v) o uso de sistemas automatizados; e (vi) o manejo eficiente da irrigação.

As vantagens da implantação de ações como essas são inúmeras, como: (i) proporcionar maior oferta e regularidade de produtos agrícolas, em geral, e de alimentos, em particular, (ii) diminuir a sazonalidade da oferta de emprego e (iii) proporcionar maior rentabilidade para o produtor rural.

No uso racional da energia, ganha o fornecedor, pois evita grandes investimentos como novas linhas de transmissão de energia; ganha o cliente, com a redução dos custos na produção; e ganha o meio ambiente, evitando impactos ambientais. Além disso, os investimentos podem ser canalizados para outras atividades, ganhando, portanto, toda a sociedade. Essa abordagem é uma tendência mundial.

Dentre as ações possíveis do uso racional da energia elétrica, têm-se: (i) a adequação do uso de força motriz (dimensionamento de motores, uso de motores de alto rendimento, otimização do número de horas de funcionamento anual); (ii) a adequação tarifária; (iii) a adequação da iluminação; (iv) o remanejamento de cargas; (v) a correção do fator de potência; e (vi) o gerenciamento do lado da demanda.

Esta dissertação é composta de quatro trabalhos sobre racionalização de energia em sistemas de irrigação. O primeiro trata das implicações da ampliação do horário de incentivo tarifário para a irrigação noturna de 6 para 8,5 horas e os custos da energia elétrica. Apresenta-se neste estudo a importância da utilização do horário noturno de incentivo para irrigação, na economia com gastos em energia elétrica, em função da pressão manométrica, da área irrigada, das lâminas de água para irrigação e do preço da tarifa (DNAEE, 1988; CEMIG, 2001; RESOLUÇÃO ANEEL 540, 2002,). O segundo trabalho refere-se à otimização do número de horas de funcionamento em um sistema de irrigação. Este demonstra as implicações dessa otimização na conservação da energia e no uso racional do recurso água. As simulações foram feitas conforme o número de horas de funcionamento anual, as potências e os rendimentos de motores e bombas, as tarifas aplicadas, as

vazões e as áreas irrigadas para calcular os custos de energia elétrica, mantendo-se uma lâmina de água para irrigação constante. O terceiro trabalho descreve um estudo da avaliação preliminar dos fatores de segurança aplicados ao dimensionamento de motobombas para irrigação. Este permite a discussão sobre os acréscimos da potência nominal de motores elétricos utilizados em sistemas de bombeamento de água, indicados na literatura técnica de irrigação (BERNARDO, 1995) e o uso do fator de serviço normalizado pela NBR 7094 (ABNT, 1996). Foi visto que os motores estudados apresentaram aumento da potência calculada de 88%. Por último, o trabalho de racionalização do uso de energia em uma das estações de bombeamento de água no perímetro irrigado de Mirorós, Bahia. Aplicaram-se as técnicas desenvolvidas nos trabalhos anteriores, demonstrando o grande potencial de economia com energia elétrica, por meio de estudos de: (i) adequação no bombeamento (dimensionamento de bombas), (ii) adequação do uso de força motriz, (iii) gerenciamento do uso da água e (iv) adequação tarifária. Foi mostrado que o potencial de economia devido ao uso adequado da energia é de cerca de 31,6%, caso as ações propostas sejam adotadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7094, máquinas elétricas girantes, motores de indução, especificação**. Projeto original NBR 7094/1994. Novembro de 1996. Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1995. 657 p.
- CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. Condições gerais de fornecimento de energia elétrica. **Resolução ANEEL 456**, 29 de novembro de 2000. 2ª edição, 2001.
- COSTA, J. M. **Análise exergética em sistemas elétricos**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- DNAEE – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA. **Plano de comercialização para unidades consumidoras rurais com atividade predominante de irrigação**. [S. l.]: DNAEE, 1988.
- EFFERTZ, R.; OLSON, D. C.; VISSA, R.; ARRUMATEGUI, H. Operação e manutenção de projetos irrigados. Trabalho elaborado pelo Bureau of Reclamation, do Departamento de Interior dos Estados Unidos, por solicitação da Secretaria de Irrigação do Governo Brasileiro. **Manual de irrigação**. Brasília, DF: Secretaria de Irrigação, 1993. v. 4, 490 p.
- JANNUZZI, G. de 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. 246 p.
- RESOLUÇÃO ANEEL 540. Alteração da Portaria DNAEE nº 105, de 3 de abril de 1992. Alterado o parágrafo 1º do art. 1º de 01/10/02, publicado no **Diário Oficial da União**, Brasília, seção 1, v.139, n. 191, p. 81, 02 out. 2002.

AMPLIAÇÃO DO HORÁRIO DE INCENTIVO TARIFÁRIO PARA A IRRIGAÇÃO NOTURNA E OS CUSTOS DA ENERGIA ELÉTRICA

RESUMO

A ampliação do horário de incentivo da tarifa para irrigação noturna, a partir de outubro de 2002, foi de 42%. O crescimento populacional, elevando os consumos industrial e doméstico e, sobremaneira, a qualidade de vida nos padrões modernos, induz demanda racional do uso de energia. O uso inadequado e os custos na implantação de novas fontes geradoras de energia elétrica direcionam a política energética do país a se concentrar na melhoria do equilíbrio de demanda e de consumo de energia, com valores tarifários diferenciados para o período noturno, de modo a não sobrecarregar o sistema de distribuição de energia, propondo melhor distribuição do uso para um período de 24 horas. O processo de adequação das bombas ao novo horário indicou bombas que proporcionam a mesma altura manométrica e com vazão inferior, sem interferir na lâmina de água aplicada para irrigação da planta, proporcionando racionalização do uso da energia. Já a adequação de motores elétricos mostrou até 35% de economia de previsão de gastos de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação noturna, racionalização, tarifas de energia elétrica para irrigação.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada representa real possibilidade de aumentar a produtividade do setor agrícola, permitindo abastecer o mercado interno e competir vantajosamente no comércio externo. Essa possibilidade de expansão poderá vir na utilização de energia elétrica, na qual a eletrificação das propriedades rurais brasileiras é de aproximadamente 75%, estando dentro da Região Sul com 61,6% das propriedades eletrificadas, dentro da Região Sudeste com 46,3%, dentro da Região Centro-Oeste com 28,2%, dentro da Região Nordeste com 11,1% e dentro da Região Norte com apenas 1,8% (ALCANTARA, 1999).

A distribuição de carga do sistema elétrico brasileiro indica que a maior demanda de energia elétrica ocorre no horário compreendido entre 17 e 22 h, período denominado "horário de ponta". Com o intuito de adequar a oferta de energia à solicitação de carga do sistema elétrico, foi concebida a estrutura tarifária horo-sazonal (tarifas azul e verde). Essas tarifas taxam a demanda e o consumo de energia elétrica com preços diferenciados de acordo com o horário do dia (ponta e fora de ponta) e o período do ano (seco e úmido). Essa estrutura tarifária tem como objetivos promover melhor adequação da oferta e da demanda de energia em função do horário do dia e da época do ano e prorrogar a ampliação do sistema elétrico nacional (CEMIG, 2001). Para efeito tarifário, em todas as regiões brasileiras, denomina-se horário de ponta o período de três horas consecutivas entre 17 e 22 h, porém, de acordo com a

concessionária de energia elétrica, mediante autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a adoção de um novo horário de ponta pode ser estabelecido em decorrência das características operacionais do subsistema elétrico de distribuição ou da necessidade de estimular o consumidor a modificar o perfil de consumo e/ou demanda da unidade consumidora (CEMIG, 2001). O sistema tarifário prevê cobranças de tarifas diferenciadas nos períodos seco e úmido. Denomina-se período seco aquele compreendido entre maio e novembro e período úmido, o intervalo do ano entre dezembro e abril. Buscando ajustar as curvas de oferta e de demanda de eletricidade, cobra-se uma taxa, em média, 5% mais cara durante o período seco. No horário de ponta, a tarifa é cerca de 200% mais cara do que a tarifa no horário fora de ponta para demanda e cerca de 130% mais cara para o consumo na tarifa azul. No caso da tarifa verde, a tarifa no horário de ponta sofre o referido acréscimo, apenas para o consumo de energia elétrica e não para demanda (CEMIG, 1988; DNAEE, 1988).

Caso o consumidor tenha registrado uma demanda superior a 10% da demanda contratada, é cobrada a tarifa de ultrapassagem. Denomina-se tarifa de ultrapassagem a demanda de energia utilizada por determinado consumidor, em excesso da demanda contratada. Essa tarifa corresponde ao acréscimo de cerca de 200% no valor da tarifa do respectivo horário.

A adequação tarifária auxilia a racionalização econômica, pois visa à celebração de contrato com a concessionária de energia elétrica de interesse do consumidor.

Para incentivar o uso de energia durante o período noturno, a fim de diminuir a demanda no horário de ponta, foram criados descontos para os produtores que utilizassem seus sistemas de irrigação à noite. Com isso, muitos projetos foram elaborados para usufruir desse benefício.

A partir de outubro de 2002, os produtores passaram a ter 2,5 h a mais de tarifa reduzida, devido à decisão aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), alterando o horário para aplicação de descontos na tarifa de irrigação das 23 às 5 h, para o período compreendido entre 21, 5 h e 6 h (RESOLUÇÃO ANEEL 540, 2002) (Apêndice A).

No Quadro 1, apresentam-se as regiões do país com os respectivos descontos na tarifa de irrigação. Na área de atuação da Superintendência de

Quadro 1 – Descontos no preço da energia elétrica para irrigação aplicáveis às tarifas de consumo correspondente ao subgrupo e à modalidade tarifária a que pertencer a unidade consumidora

Regiões do País	Grupo A (alta tensão)	Grupo B (baixa tensão)
Nordeste e outras regiões geoeconômicas incluídas na área de atuação da SUDENE	90%	73%
Norte e Centro-Oeste	80%	67%
Demais regiões	70%	60%

Fonte: RESOLUÇÃO ANEEL 277 (2000).

Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) estão, também, incluídos os municípios do norte do Estado do Espírito Santo e nordeste do Estado de Minas Gerais, havendo para as regiões menos desenvolvidas um subsídio maior na tarifa de irrigação.

Além dos benefícios tarifários, existem vantagens técnicas em se irrigar à noite, pois, em geral, as condições climáticas são mais favoráveis, com probabilidade menor de vento, insolação inexistente, temperatura mais baixa e umidade relativa do ar mais elevada.

A abertura e o conseqüente surgimento de um mercado cada vez mais competitivo fazem com que os diversos setores da economia sejam forçados a reduzir seus custos de produção. Nas lavouras irrigadas, o consumo de energia elétrica pode representar uma parcela dos custos de produção de até 30%, aproximadamente (BERNARDO, 1995). Por essa razão, a redução nos custos operacionais torna-se fator importante para diminuir o tempo de retorno do capital investido e reduzir o custo de produção total.

2. OBJETIVO

O objetivo do desenvolvimento deste trabalho foi estudar implicações técnicas e econômicas da ampliação do horário de incentivo tarifário para irrigação noturna nos custos da energia elétrica.

Especificamente visou-se, neste trabalho, comparar os gastos com energia elétrica em sistemas de irrigação, dimensionados em função do número de horas, nas seguintes situações:

- (i) Período de incentivo tarifário para irrigação noturna de 6 horas.dia⁻¹ – situação anterior a outubro de 2002.
- (ii) Período de incentivo tarifário para irrigação noturna de 8,5 horas.dia⁻¹ – situação atual.
- (iii) Sistema dimensionado para o período de 6 horas.dia⁻¹ de irrigação noturna operando para irrigação noturna de 8,5 horas.dia⁻¹.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As análises dos dados estimados foram feitas no Laboratório de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

Para que os irrigantes possam tomar decisões sobre a necessidade de redimensionamento do sistema de bombeamento, a fim de racionalizarem o uso de energia elétrica com a aplicação do novo horário de tarifa reduzida, foram feitas simulações para comparar os gastos com energia elétrica em sistemas de irrigação dimensionados em função do número de horas, nas seguintes situações: (i) período de irrigação de 6 h.dia^{-1} – Situação anterior a outubro de 2002; (ii) período de irrigação de $8,5 \text{ h.dia}^{-1}$ – Situação atual; e (iii) sistema dimensionado para o período de horas de irrigação noturna de 6 h.dia^{-1} e adaptado para o período de incentivo à irrigação noturna atual, 8,5 horas diárias.

As simulações foram feitas para as seguintes situações: três lâminas de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia^{-1} ; cinco áreas irrigadas para 2, 5, 10, 50 e 100 ha; três alturas manométricas distintas de 196, 294 e 588 kPa (20, 40 e 60 mca); três situações de comportamento dos conjuntos motobombas: dimensionado para 6 horas e trabalhando 6 horas, dimensionado para 8,5 horas e trabalhando 8,5 horas e dimensionado para 6 horas e trabalhando 8,5 horas; e seis níveis de desconto para as tarifas de consumo com 60, 67,

70, 73, 80 e 90%. Portanto, foi realizado um total de 810 simulações (3 lâminas x 5 áreas x 3 alturas manométricas x 3 situações x 6 níveis de desconto).

A escolha da tarifa horo-sazonal depende de em qual dos grupos (A e B) o consumidor será enquadrado, de acordo com a potência instalada.

No Grupo B, conhecidos como consumidores alimentados em tensão secundária, estão incluídos os consumidores atendidos em tensão de fornecimento inferior a 2.300 V. Para estes consumidores, é aplicada apenas a tarifa monômnia convencional, ou seja, cobra-se apenas o consumo de energia elétrica em kWh.mês⁻¹, para alimentação monofásica com transformadores de 5 a 37,5 kVA e para redes trifásicas, com transformadores de 15 a 75 kVA.

No Grupo A estão incluídos os consumidores da classe industrial/comercial atendidos em tensão de fornecimento igual ou superior a 2.300 V. Para estes consumidores, é aplicada a tarifa binômnia, ou seja, as tarifas de demanda e de consumo são cobradas de acordo com o contrato de fornecimento. Para esses consumidores, a escolha tarifária depende da demanda de potência e do consumo de energia elétrica (Quadro 2).

Quadro 2 – Opções tarifárias do Grupo A

Características do Consumidor	Tarifa
Tensão ≥ 69 kV e qualquer demanda	Azul
Tensão < 69 kV e demanda ≥ 300 kW	Azul ou verde
Tensão < 69 kV e 50 kW < demanda < 300 kW	Azul, verde ou convencional

Fonte: CEMIG (2001).

A tarifa convencional contempla os consumidores atendidos com tensão menor que 69 kV e demanda entre 50 kW e 300 kW.

A tarifa azul atinge três tipos de consumidores:

- (i) Os que são atendidos com tensão menor que 69 kV e demanda entre 50 kW e 300 kW, com critério de aplicação opcional.
- (ii) Os que são atendidos com tensão menor que 69 kV e demanda igual ou superior a 300 kW, com critério de aplicação compulsória, para aqueles que não optaram pela tarifa verde.

- (iii) Os que são atendidos com tensão igual ou superior a 69 kV e qualquer demanda, com critério de aplicação compulsória.

A tarifa verde contempla os consumidores atendidos com tensão menor que 69 kV e demanda igual ou superior a 300 kW. A estrutura tarifária horo-sazonal utilizada foi a modalidade de tarifa verde, Grupo A.

3.1. Adequação de bombas centrífugas

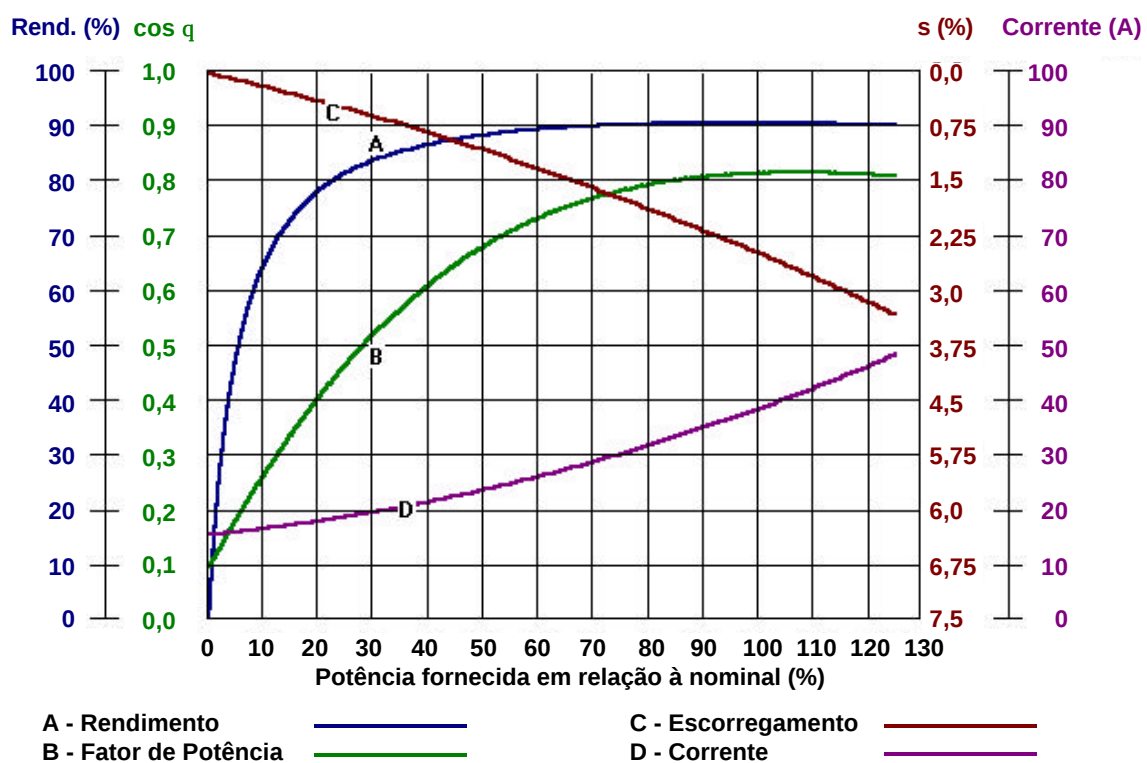
A metodologia para adequação de bombas centrífugas consistiu em selecionar a bomba que demandasse a menor potência, utilizando-se para tal a análise das curvas características das bombas e cálculos hidráulicos, por meio do programa computacional Agribombas.

Para adequação de bombas centrífugas, é importante que se faça a avaliação da vazão e pressão (CAMPANA, 2000; SANTOS, 2000; SANTOS, 2001). De posse da curva característica da bomba otimizada, comparou-se com a característica da bomba que está em funcionamento, usando sempre o critério da mesma lâmina de água para irrigação com jornadas diferentes.

3.2. Adequação da força motriz

A metodologia para adequação da força motriz consistiu em selecionar, para o motor em estudo, por meio de suas curvas características (Figura 1), os seguintes parâmetros.

- (i) Rendimento.
- (ii) Corrente no estator.
- (iii) Fator de potência.
- (iv) Escorregamento em função do índice de carregamento dos motores (WEG, 2002; TEIXEIRA et al., 2001).



Fonte: WEG (2002)

Figura 1 – Curvas características típicas de motor elétrico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os 810 tratamentos foram proporcionalmente semelhantes em relação ao custo da energia elétrica para as diversas lâminas de água para aplicação na irrigação (Apêndice B).

No Quadro 3, mostram-se os resultados de cada procedimento na economia com o custo da energia elétrica para sistemas de irrigação de 10 hectares e com uso do desconto tarifário de 67% em relação às três lâminas de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia⁻¹ e às três pressões de 198, 392 e 588 kPa (20, 40 e 60 mca), em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h.

Analisando o Quadro 3 para área de 10 hectares, observa-se que, com o aumento da lâmina de água para irrigação, mantendo a mesma pressão, a potência do motor tende a ser proporcional à lâmina de água aplicada, ou seja, um aumento desta lâmina de 2 para 5 mm correspondeu a um incremento de 150% para uma elevação na potência dos motores entre 88% e 150%. Já um aumento da lâmina de água de 5 para 7 mm correspondeu a um aumento de 40% para um incremento na potência dos motores entre 25% e 30%. A análise do índice de carregamento, que é a razão da potência absorvida dividida pela potência nominal, mantendo-se o mesmo sistema de bombeamento dimensionado para funcionar 6 h sendo usado 8,5 h, mostra que os motores trabalham com folgas maiores, indicando o índice de carregamento, que sempre se apresenta inferior ao comparado. Comparando o custo da água em

Quadro 3 – Análises técnica e econômica do uso de energia elétrica para sistemas de irrigação de 10 hectares e desconto tarifário de 67% em relação à lâmina de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia⁻¹ e pressões de 196, 392 e 588 kPa (20, 40 e 60 mca) para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h

Lâmina de Água para Irrigação	Pressão	Jornada diária de Funcionamento	Potência do Motor	Índice de Carregamento	Rendimento da Bomba	Rendimento do Motor	Consumo de Energia	Demanda	Gasto com Energia	Gasto com Demanda	Gasto Total	Custo d'Água
mm.dia ⁻¹	kPa (mca)	h	cv	%	%	%	kWh.ano ⁻¹	kW	R\$.ano ⁻¹	R\$.ano ⁻¹	R\$.ano ⁻¹	R\$/1.000 m ³
2	192 (20)	6	5,00	74,26	67	87	4.133	38	214,14	356,74	570,87	13,03
		8,5	4,00	68,94	63	86	4.416	28	228,79	269,05	497,85	11,37
		*8,5	5,00	55,07	63	85	4.426	29	229,32	269,67	498,98	11,39
	392 (40)	6	10,00	70,35	70	90	7.544	69	390,85	651,14	1.041,99	23,79
		8,5	6,00	85,44	68	87	8.084	52	418,83	492,52	911,35	20,81
		*8,5	10,00	56,59	62	89	8.757	56	453,72	533,56	987,28	22,54
	588 (60)	6	15,00	77,40	64	91	12.406	113	642,74	1.070,77	1.713,51	39,12
		8,5	10,00	80,82	65	91	12.233	79	633,80	745,32	1.379,12	31,49
		*8,5	15,00	68,35	51	91	15.519	100	804,06	945,54	1.749,59	39,95
5	192 (20)	6	10,00	77,65	80	91	8.296	76	429,84	716,09	1.145,93	10,47
		8,5	7,50	74,96	78	88	8.799	57	455,89	536,11	992,01	9,06
		*8,5	10,00	58,33	75	89	8.994	58	465,96	547,94	1.013,90	9,26
	392 (40)	6	20,00	77,26	80	93	16.042	147	831,14	1.384,62	2.215,76	20,24
		8,5	15,00	76,34	76	91	17.271	111	894,83	1.052,28	1.947,11	17,78
		*8,5	20,00	57,26	76	93	16.903	109	875,74	1.029,83	1.905,57	17,40
	588 (60)	6	30,00	81,22	76	93	25.388	232	1.315,34	2.191,28	3.506,62	32,02
		8,5	20,00	89,78	73	92	26.789	173	1.387,96	1.632,18	3.020,14	27,58
		*8,5	30,00	59,85	73	92	26.694	172	1.382,99	1.626,34	3.009,33	27,48

Continua...

Quadro 3, cont.

Lâmina de Água para Irrigação	Pressão	Jornada	Potência do Motor	Índice de Carregamento	Rendimento da Bomba	Rendimento do Motor	Consumo de Energia	Demanda	Gasto com Energia	Gasto Demanda	Gasto Total	Custo d'Água
mm/dia	kPa (mca)	h	cv	%	%	%	kWh.ano ⁻¹	kW	R\$.ano ⁻¹	R\$.ano ⁻¹	R\$.ano ⁻¹	R\$/1.000 m ³
7	192 (20)	6	12,50	87,18	79	91	11.560	106	598,93	997,78	1.596,71	10,42
		8,5	10,00	76,83	79	91	11.630	75	602,54	708,56	1.311,09	8,55
		*8,5	12,50	61,46	79	91	11.546	74	598,17	703,43	1.301,60	8,49
	392 (40)	6	25,00	85,78	81	92	22.423	205	1.161,72	1.935,35	3.097,06	20,20
		8,5	20,00	76,64	80	93	22.543	145	1.167,98	1.373,49	2.541,47	16,58
		*8,5	25,00	66,40	74	92	24.765	160	1.283,09	1.508,86	2.791,95	18,21
	588 (60)	6	40,00	83,74	77	92	35.024	320	1.814,62	3.023,04	4.837,66	31,56
		8,5	30,00	80,27	76	93	35.417	228	1.834,95	2.157,82	3.992,78	26,05
		*8,5	40,00	66,60	69	92	39.601	255	2.051,74	2.412,76	4.464,49	29,12

(*) O sistema de bombeamento mantém o mesmo usado para 6 h, variando a vazão para o período de 8,5 h.

R\$/1.000 m³, o dimensionamento de 6 h tem custo maior do que o de 8,5 h, apesar de o gasto com consumo de energia elétrica ser inferior mesmo que a demanda de energia seja maior.

No Quadro 4, apresentam-se os resultados de economia anual com energia elétrica para sistemas de irrigação de 10 hectares, em função da lâmina de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia⁻¹ e pressões de 196, 392 e 588 kPa (20, 40 e 60 mca), para dimensionamento em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5.

Quadro 4 – Economia anual com energia elétrica para sistemas de irrigação de 10 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia⁻¹ e pressões de 196, 392 e 588 kPa para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h

Lâmina de Água para Irrigação	Altura Manométrica	Economia				
		Consumo de Energia	Demanda	Energia	Demanda	Total
mm.dia ⁻¹	kPa (mca)	kWh.ano ⁻¹	kW	%	%	%
2	196 (20)	-283	9	-6,8	24,6	12,8
	392 (40)	-540	17	-7,2	24,4	12,5
	588 (60)	173	34	1,4	30,4	19,5
5	196 (20)	-503	19	-6,1	25,1	13,4
	392 (40)	-1229	35	-7,7	24,0	12,1
	588 (60)	-1402	59	-5,5	25,5	13,9
7	196 (20)	-70	31	-0,6	29,0	17,9
	392 (40)	-121	59	-0,5	29,0	17,9
	588 (60)	-392	92	-1,1	28,6	17,5

Analisando o Quadro 4, observa-se que a economia anual total com energia elétrica foi de até 19,5%, para a lâmina de água para irrigação de 2 mm.dia⁻¹ e pressão manométrica de 588 kPa (60 mca), sendo a economia com demanda de até 30,4%. Os gastos com energia aumentaram até 7,7%, para lâmina de água de 5 mm.dia⁻¹ e pressão manométrica de 392 kPa (40 mca). A principal razão de os gastos com energia aumentarem se deve ao fato de ser, em geral, o rendimento de bombas e motores tanto menor quanto for a potência deles. No Quadro 4, mostra-se, ainda, a não-linearidade na economia anual com energia, para diferentes lâminas de água (mm dia⁻¹) e

pressões manométricas (mca), implicando necessidade de estudos de cada caso em particular, para otimização do sistema.

A Figura 2 ilustra, de forma gráfica, os gastos anuais com energia elétrica simulados, semelhante ao Quadro 4 para área de 50 ha.

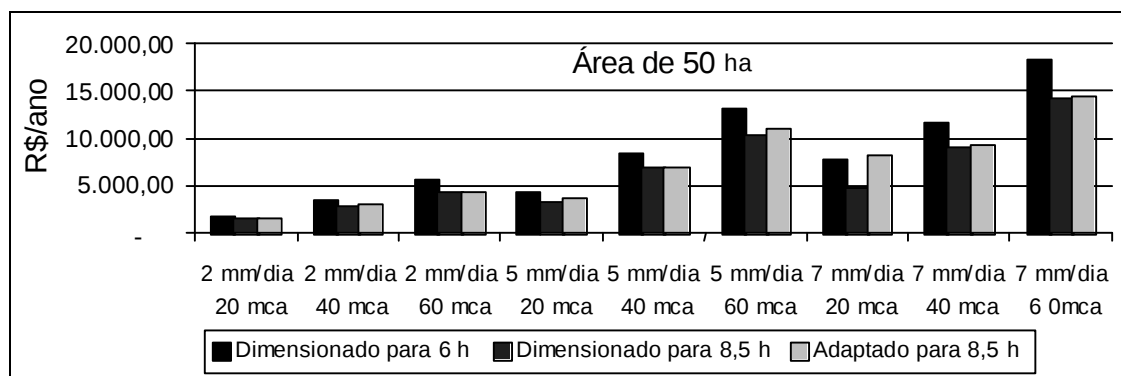


Figura 2 – Custos anuais com energia elétrica para sistemas de irrigação para 50 ha, em razão de a lâmina de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia⁻¹ e a pressão de 196, 392 e 588 kPa (20; 40 e 60 mca) serem o dimensionamento em função do número de horas de incentivo à irrigação noturna (6, 8,5 e 6 h, funcionando 8,5 h).

Analisando a Figura 2, observa-se que os gastos anuais com energia elétrica são maiores para 6 h de irrigação em relação ao dimensionado para 8,5 h. Isso significa que para dadas lâminas de água (mm dia⁻¹) e pressões (kPa), quando o dimensionamento era feito em função de 6 h de incentivo à irrigação noturna, os gastos anuais foram maiores. Nota-se também que a diferença das colunas para 6 h são proporcionais àquelas dimensionadas para 8,5 h, enquanto o dimensionado para o período de 6 h e operando em 8,5 h não corresponde à sua eficiência, ou seja, variando acima ou abaixo dos valores dimensionados.

Na Figura 3, apresentam-se o quanto se pode reduzir na conta de energia para diferentes tamanhos de área, pelo aumento de tempo de irrigação. Para um incentivo tarifário de 67%, uma área de 50 hectares, uma lâmina de água para 7 mm.dia⁻¹ e uma pressão de 196 kPa (20 mca), obteve-se um ganho de quase 35% na redução na conta de energia com a troca do

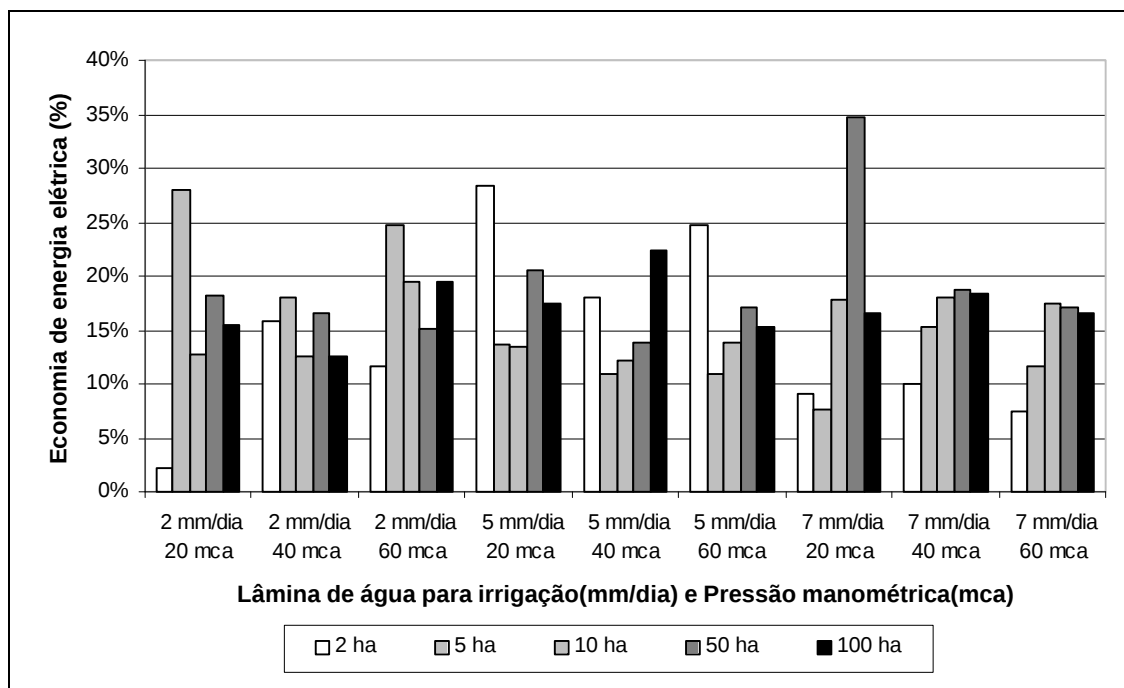


Figura 3 – Economia percentual na conta de energia de diferentes tamanhos de áreas agrícolas, em função da otimização das motobombas pela diferença no número de horas de incentivo tarifário, em diferentes lâminas de água para irrigação de 2, 5 e 7 mm.dia⁻¹ e distintas pressões 196, 392 e 588 kPa (20, 40 e 60 mca).

motor e da bomba. Observa-se também, nessa figura, que, para uma mesma lâmina de água e uma mesma pressão, não há proporcionalidade entre uma área e outra. A diferença entre os resultados pode ser explicada pela não-linearidade das curvas de rendimento dos motores e das bombas e também pela não-disponibilidade de maior número de modelos de motores no mercado.

Na Figura 4, observa-se que o percentual de economia de energia elétrica é crescente em razão de o desconto ao incentivo tarifário para a irrigação noturna ser proporcional ao incentivo regional. Quando se usa um desconto na tarifa de irrigação noturna de 60%, a economia pode chegar a 21,4%, para 67% uma economia de 22,4% e para 90% uma economia de 28,8%. Nota-se também que nem sempre a maior lâmina de água usada na irrigação tem um melhor desconto, como o observado para 7 mm para pressão de 392 kPa.

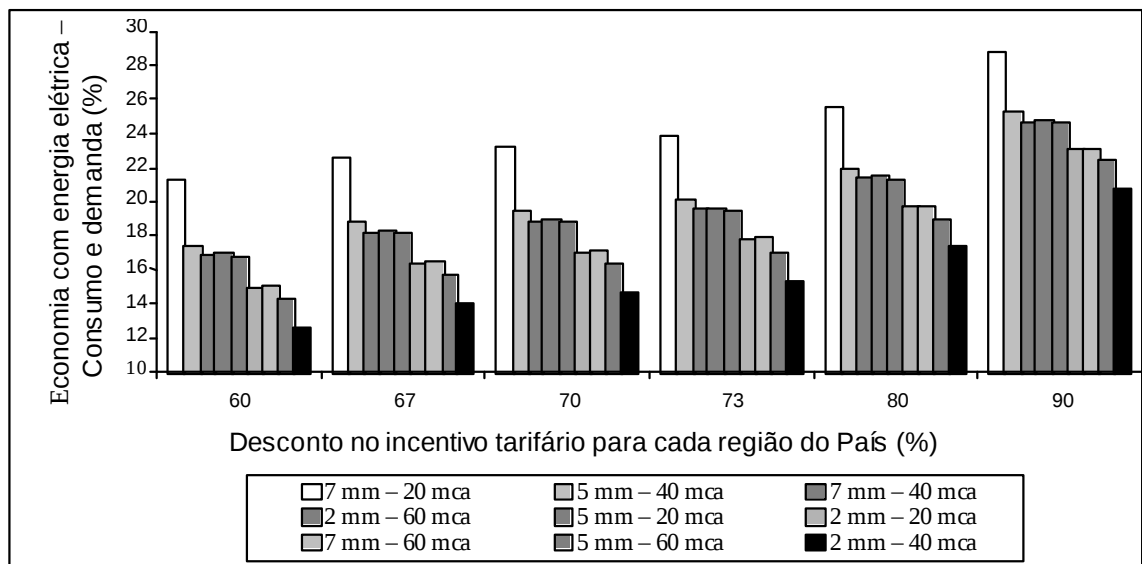


Figura 4 – Diferença média na comparação dos incentivos tarifários para irrigação conforme a região do País.

Nas regiões de maior incentivo, como a Região Nordeste, o ganho a mais de 30%, em relação à Região Sul, possibilita melhores aproveitamento e automação dos sistemas de irrigação noturna.

5. CONCLUSÃO

- (i) Tendo em vista o aumento do número de horas de incentivo tarifário para irrigação noturna de 6 para 8,5 h.dia⁻¹, este estudo evidenciou a necessidade de redimensionar sistemas de bombeamento de água quando utilizado esse novo período de incentivo tarifário noturno e mantendo a mesma outorga de água para fins de irrigação.
- (ii) A não-linearidade dos resultados pode ser explicada parcialmente, devido aos rendimentos de motores e de bombas e à não-disponibilidade de modelos comerciais de bombas e motores para todas às potências calculadas.
- (iii) O dimensionamento otimizado de sistemas de irrigação, visando à minimização dos gastos com energia, viabiliza economicamente a atividade, atribui, também, a diminuição das intervenções ambientais e possibilita a expansão da área irrigada.
- (iv) Para uma situação isolada de redimensionamento do sistema de bombeamento simulado, obteve-se um ganho satisfatório na economia de quase 35% para a área de 50 ha e para área de 2 ha, uma economia na conta de energia de, aproximadamente, 9% para uma mesma lâmina de água de 7 mm.dia⁻¹ e uma pressão de 196 kPa (20 mca). Isso significa que o ganho pode ser variável para cada situação analisada.

- (v) Há interesse público para a automação em sistemas de irrigação noturna, uma vez que esse período possibilita melhor uniformidade na aplicação e consumo de água e menor tempo de rega.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA, L. **O Poder Público incentivará prioritariamente a agricultura irrigada através do estabelecimento de tarifas subsidiadas para pequenos e médios produtores rurais**. Projeto de Lei do Senado nº 173, de 1999, inciso V do art. 94 da Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Sala de Sessões do Congresso Nacional, Brasília, DF, 1999.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1995. 657 p.
- CAMPANA, S. **Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipos pivô central e aspersão convencional**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Tarifas horosazonais, manual de orientação ao consumidor**. Rio de Janeiro: CEMIG, 1988.
- CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, Resolução ANEEL 456, 29 de Novembro de 2000**. 2. ed. [S. l.]: CEMIG, 2001.
- DNAEE – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA. **Plano de comercialização para unidades consumidoras rurais com atividade predominante de irrigação**. [S. l.]: CEMIG, 1988.
- RESOLUÇÃO ANEEL 277. Inclusão dos Municípios do Norte do Espírito Santo e Nordeste de Minas Gerais nos Descontos Tarifários para Irrigação, de 19/7/2000. **Diário Oficial da União**, em 20/7/2000.

RESOLUÇÃO ANEEL 540. Alteração da Portaria DNAEE nº 105, de 3 de abril de 1992. Alterado o parágrafo 1º do art. 1º de 01/10/02. **Diário Oficial da União**, seção 1, v. 139, n. 191, p. 81, 2 out. 2002.

SANTOS, W. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para representação analítica de curvas características de bombas hidráulicas, visando sua seleção, seu dimensionamento e a simulação de sua operação**. Viçosa, MG: UFV, DGU, 2001. 698 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

SANTOS, W. L. **AgriBombas - Programa racional para seleção de bombas agrícolas**. Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2000. Disponível via URL em: <www.ufv.br>.

TEIXEIRA, C. A.; OLIVEIRA FILHO, D.; LACERDA FILHO, A. F. Racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração da Universidade Federal de Viçosa – Estudo de caso. In: SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA – INDICANDO NOVOS CAMINHOS PARA A PRODUTIVIDADE NO CAMPO, 2, 2001. Uberaba. **Anais...** Uberaba, MG: Fazenda Energética – Companhia Energética de Minas Gerais, 2001.

WEG, **Catálogo Eletrônico 2002**. Jaraguá do Sul. Disponível em: <<http://www.weg.com.br>>. Acesso em: 01 mar. 2003.

OTIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE HORAS DE FUNCIONAMENTO EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

RESUMO

A expansão da agricultura irrigada gera melhor oferta de alimentos durante o ano inteiro, porém, para o sucesso desse empreendimento, os gastos com energia elétrica podem chegar até 30% do custo da produção, assim como conflitos pelo uso da água tornam-se mais frequentes, causando também consequências desastrosas ao meio ambiente. Incentivos do governo na ampliação tarifária do horário de irrigação noturna e de programas de redução do consumo de água, bem como na liberação de outorga, favorecem, por um lado, estudos de viabilidades social, econômica e ambiental de projetos agrícolas. Nessa abordagem da otimização do aumento do tempo, mantendo a mesma lâmina de água para irrigação, o incremento da área plantada é significativo, possibilitando estudos de investimentos em equipamentos eletrônicos. As vantagens para o aumento do número de horas de funcionamento em sistemas de irrigação podem ser notadas quando os gastos nas contas de energia forem menores. Podem ser citados, também, o uso de motores com menor potência nominal, com menor custo de aquisição; a facilidade no manuseio; a construção de casa de máquinas menores; menores investimentos nas redes elétricas; uma vazão menor no bombeamento de água; o uso de diâmetros menores das tubulações; a manutenção da reserva

de água dos aquíferos; e até o adiamento de novas construções de usinas geradoras de energia.

PALAVRAS-CHAVE: horas de funcionamento, otimização da irrigação.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são imensos, mas finitos, como a água, o petróleo, o carvão, o gás e outros que ajudam a gerar energia. Atualmente, o mundo está sob pressão e poderá entrar em recessão por causa da falta de investimentos na expansão da capacidade de geração de energia elétrica.

Em geral, quando uma máquina trabalha continuamente, há custos operacionais referentes à jornada de trabalho diário. No entanto, isso tem que ser analisado com relação à mão-de-obra. O aumento do número de horas de funcionamento anual, em geral, eleva a produção e, em consequência, provoca redução no valor final do produto.

Na agricultura irrigada, o uso do solo pode ser mais intensivo do que na agricultura de sequeiro, podendo chegar até três safras em um ano, e o uso de novas áreas podem ser exploradas sem precisar de acréscimo na demanda de água, por meio do manejo otimizado da irrigação.

Para uma plantação com demanda de certa lâmina d'água por dia, a vazão de irrigação será de acordo com o tamanho da área e o tempo de operação. Não se pode aumentar a área irrigada sem aumentar também proporcionalmente a vazão, para que a cultura não venha a sentir a falta de água (estresse hídrico). No entanto, aumentando a área e o tempo de funcionamento da irrigação proporcionalmente, mantém-se a lâmina de água aplicada e eleva-se a produção bruta, o que proporciona melhor uso dos recursos hídricos.

A agricultura irrigada é responsável por 70% do consumo de água doce disponível, a indústria 23% e o consumo humano 7%. A agricultura irrigada não tem o direito ao desperdício de água, sendo esta finita, mas sim ao uso adequado e em condições técnicas apropriadas, a fim de permitir o uso racional dos mananciais hídricos e da energia para bombeamento. Apesar de a superfície irrigada representar apenas 18% da área total cultivada, a produção em áreas irrigadas é responsável por cerca de 42% da produção agrícola mundial (CHRISTOFIDIS, 2002), havendo, assim, uma produtividade média muito maior do que na agricultura de sequeiro.

No Brasil, onde se tem a maior reserva de água doce de rios, lagos e águas subterrâneas do planeta, os sistemas de irrigação que mais se desenvolvem são os pressurizados, os de baixa pressão e os automatizados.

Os sistemas de irrigação são, em sua maioria, operados sem se preocupar com a otimização do número de horas de funcionamento anual. É comum o fato de os sistemas de irrigação serem dimensionados e funcionarem apenas 800 horas por ano (CAMPANA, 2000). Quando sistemas são dimensionados para operarem em um número de horas relativamente pequeno, as vazões envolvidas poderão ser significativamente maiores, o que, possivelmente, implica perdas por percolação e infiltração profunda e poderá, dependendo dos turnos de rega, gerar, inclusive, estresses hídricos indesejáveis devido à baixa frequência de irrigação. Outras desvantagens da operação de sistemas em um número relativamente pequeno de horas anuais estão relacionadas com o uso de energia e necessidades de investimentos. Do ponto de vista energético, as demandas serão maiores, implicando também maiores gastos com demanda. Do ponto de vista econômico, deve-se considerar que os sistemas que são operados apenas um número de vezes relativamente pequeno por ano deverão exigir maiores investimentos. Portanto, não somente do ponto de vista da eficiência de aplicação, mas também energético e econômico, há que se considerar a otimização do número de horas de funcionamento anual de sistemas de irrigação. A otimização do número de horas de funcionamento anual desses sistemas em dada área, em geral, leva a: (i) menor intervenção sobre os cursos d'água, pela menor vazão retirada dos mananciais; e (ii) menores consumos de energia elétrica. A outorga de água como fator limitante em sistemas de irrigação, a otimização do

número de horas de funcionamento anual acarreta: (i) aumento de renda do produtor com vantagens socioeconômicas para a região; (ii) possibilidade de ampliação da área irrigada, caso se utilize a vazão para o projeto inicialmente concebido; (iii) menores consumos de energia elétrica; e (iv) ampliação das ofertas agrícolas para todo o ano, com produtos e insumos.

Os desperdícios decorrentes da operação não-otimizada de bombeamento de água para sistemas de irrigação acarretam: (i) elevação dos custos da energia elétrica consumida; (ii) elevação do custo final da produção agrícola; e (iii) maior impacto ambiental, pela retirada de vazão maior do manancial, podendo causar instabilidades hidrológicas significantes.

Em sistemas não-automatizados, a demanda de mão-de-obra aumenta com a ampliação do horário de funcionamento da irrigação. Podem aparecer situações incômodas em horários noturnos, como frio, luminosidade deficiente e maior possibilidade de ocorrência de acidentes, que deverão ser levados em consideração pelo produtor. A situação é inversa para um sistema de irrigação automatizada, que pode ter um custo inicial alto, mas exige menos mão-de-obra e tem o retorno do capital quase que imediato, utilizando-se os incentivos da irrigação noturna.

Os rendimentos da bomba e do motor têm influência na escolha da potência do sistema de bombeamento e podem variar, dependendo do fabricante. Assim, cada tipo de motor tem as suas características, como é o caso do motor de alto rendimento, comparado com um convencional, para uma mesma finalidade de trabalho.

Mantendo a mesma lâmina de água para irrigação por dia, pode-se distribuir uma vazão diária menor em função do tempo de funcionamento do sistema. A melhor distribuição do funcionamento da irrigação reduz a demanda e o consumo de energia elétrica, favorecendo um ganho na conta anual.

2. OBJETIVOS

O desenvolvimento do presente trabalho objetivou otimizar, técnica e economicamente, o número de horas de funcionamento de um sistema de irrigação, visando à racionalização do uso de energia elétrica.

Especificamente, visou-se atingir os seguintes objetivos:

- (i) Determinar potência e rendimento de motores convencionais e de alto rendimento para sistemas de irrigação instalados, para diferentes áreas e lâmina de água para irrigação, diferentes alturas manométricas (pressões) e horas de funcionamento anual.
- (ii) Avaliar economicamente os sistemas estudados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As simulações foram realizadas no Laboratório de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. A seleção de bombas foi feita com o uso do programa computacional Agribombas (SANTOS, 2000; SANTOS, 2001), com informações de cinco fabricantes. Foram selecionados modelos de bombas com pressões de 196, 294, 392 e 490 kPa (20, 30, 40 e 50 mca) que representam, em média, as mais comuns usadas em propriedades rurais e vazões correspondentes a uma lâmina de água para irrigação de 5 mm dia⁻¹ para áreas de 2, 5 e 10 ha. Para cada conjunto de pressão e vazão estudados foram selecionados modelos de bombas mais eficientes para um número de horas de funcionamento anual de 500, 1.000, 1.500, 2.000, 2.500, 3.000, 3.500, 4.000, 4.500 e 5.000. Os dados foram processados utilizando a planilha eletrônica Microsoft Excel. Foram usados os valores para o cálculo do custo da energia utilizando a tarifa horo-sazonal verde.

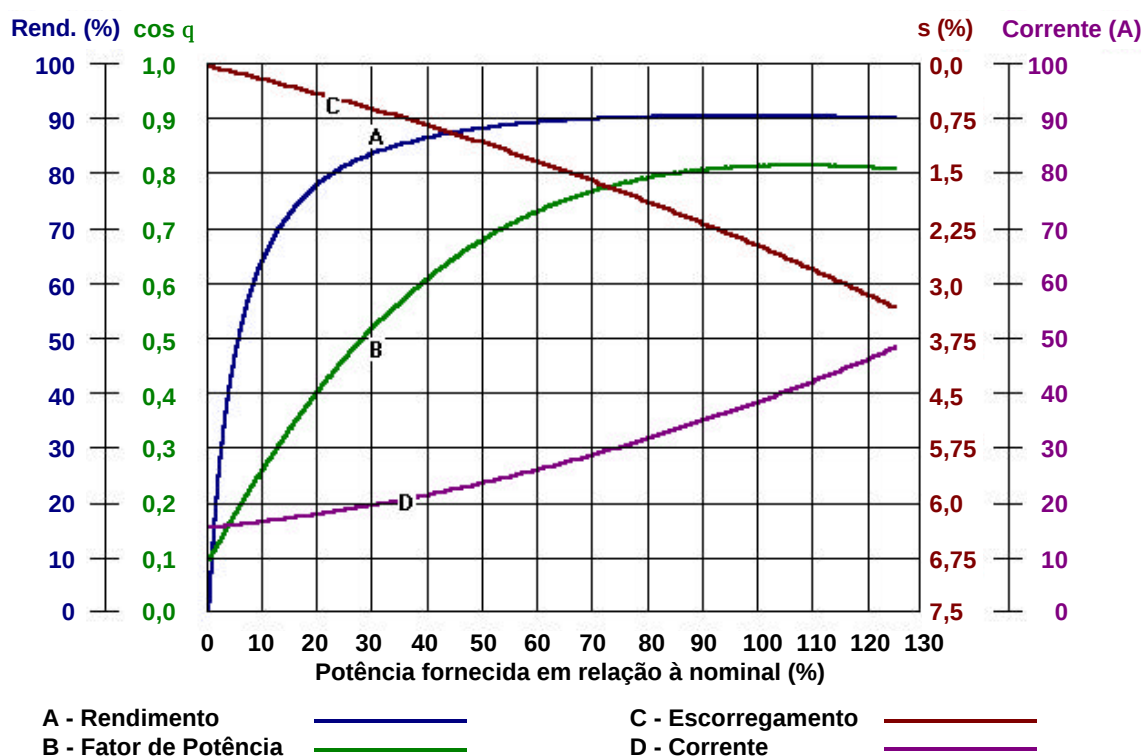
3.1. Determinação da potência e do rendimento dos motores

Quando uma área é preparada para o uso da irrigação e não houver pressão manométrica suficiente para suprir as necessidades de água do projeto, utiliza-se de sistema de bombeamento hidráulico, cuja potência mecânica, em geral, é suprida por motores. Sistemas de bombeamento com

motores montados no mesmo eixo possuem, em geral, melhor eficiência do que os acoplados por meio de correias.

A pressão manométrica e a vazão do sistema são parâmetros necessários para a seleção de bombas. Por meio da escolha do rotor da bomba selecionada, determina-se a potência mecânica demandada (potência da bomba). A determinação da potência elétrica útil (potência do motor) foi feita a partir da potência mecânica demandada e das curvas características dos motores elétricos (KOHLBACH, 2000; WEG, 2000).

Os rendimentos dos motores foram calculados por meio das curvas características (Figura 1). As curvas características dos motores fornecem também o fator de potência, o índice de escorregamento e a corrente em função do índice de carregamento, que é a razão entre a potência mecânica demandada e a potência nominal do motor.



Fonte: WEG (2002)

Figura 1 – Curvas características típicas de motor elétrico.

A potência necessária de um conjunto motobomba, em um sistema de irrigação, é calculada conforme as exigências de água para a cultura ou a vazão (Equação 1) e altura manométrica necessária.

$$Q = \frac{A \cdot L_i \cdot 10}{h} \quad (1)$$

em que

Q = vazão necessária, $m^3.h^{-1}$;

A = área a ser irrigada, ha;

L_i = lâmina de água para irrigação a ser aplicada, $mm.dia^{-1}$; e

h = número de horas de funcionamento diário, $h.dia^{-1}$.

A potência necessária ao sistema de irrigação é expressa pelas Equações 2a e 2b.

$$P_{kW} = \frac{Q \cdot H_{man}}{367 \cdot \eta_b \cdot \eta_m} \quad (2a)$$

$$P_{cv} = \frac{Q \cdot H_{man}}{270 \cdot \eta_b \cdot \eta_m} \quad (2b)$$

em que

P_{kW} = potência elétrica necessária ao sistema, kW;

P_{cv} = potência elétrica necessária ao sistema, cv;

Q = vazão bombeada, $m^3.h^{-1}$;

H_{man} = altura manométrica, mca;

η_b = rendimento ou eficiência da bomba, em decimal; e

η_m = rendimento ou eficiência do motor, em decimal.

3.2. Avaliação econômica dos sistemas estudados

Foram feitas duas análises econômicas: (i) uma análise de vida útil e (ii) outra de custo inicial.

- **Índices econômicos**

Na análise econômica do uso da força motriz, utilizaram-se índices econômicos, como taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL), relação benefício/custo (RBC) e taxa de retorno do capital (TRC) (FRIZZONE e SILVEIRA, 2000).

Para cada motor estudado, os seguintes dados de entrada foram analisados, para efeito de análise econômica: número de horas de funcionamento anual; vida útil; taxa de juros (8% a.a.); aumento no preço da energia acima da inflação (2% a.a.); horizonte de planejamento (10 anos); tarifa de consumo (R\$0,026/kWh) e de demanda de energia elétrica (R\$9,45/kW) para tarifa horo-sazonal verde; preço dos motores; e custo de manutenção (1% a.a.).

- **Custo anual de energia elétrica**

O custo da energia elétrica consumida anualmente foi estimada usando-se a Equação 3:

$$C_a = 0,736 \frac{H_f C_e P_n I_c}{\eta_m} \quad (3)$$

em que

- C_a = custo anual de energia, R\$.ano⁻¹;
- H_f = período de funcionamento, h/ano;
- C_e = tarifa da energia, R\$.kWh⁻¹;
- P_n = potência nominal do motor elétrico, cv;
- I_c = índice de carregamento do motor elétrico;
- η_m = rendimento do motor elétrico; e
- 0,736 = fator de conversão da potência em cv para kW.

- **Custo de demanda da energia elétrica**

O custo de demanda da energia elétrica corresponde ao valor anual de demanda de potência do motor e foi estimado, usando-se a Equação 4:

$$C_d = 0,736 \frac{12 C_{du} P_n I_c}{\eta_m} \quad (4)$$

em que

C_d = custo da demanda, R\$.ano⁻¹;

P_n = potência nominal do motor elétrico, cv;

C_{du} = custo unitário da demanda mensal, R\$.kW⁻¹;

I_c = índice de carregamento do motor elétrico;

η_m = rendimento do motor elétrico;

12 = fator referente ao período de 12 meses por ano; e

0,736 = fator de conversão de cv para kW.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Determinação da potência e do rendimento dos motores

Nas Figuras 2 e 3, apresentam-se os rendimentos de bombas e de motores elétricos de alto rendimento, para área de 2 ha, lâmina de água para irrigação de 5 mm.dia^{-1} e pressões de 196 e 392 kPa (20 e 40 mca), que melhor representam sistemas de irrigação localizada e aspersão convencional em função do número de horas de funcionamento anual, respectivamente.

Analizando as Figuras 2 e 3, para pressões de 196 kPa (sistema de irrigação localizada) e 392 kPa (sistema de irrigação por aspersão), respectivamente, observa-se que: (i) os rendimentos dos motores foram sempre maiores do que os das bombas, para dado número de horas de funcionamento anual; (ii) os rendimentos dos motores e bombas diminuem à medida que aumenta o número de horas de funcionamento anual; e (iii) a potência dos motores decresce com o aumento do número de horas de funcionamento anual. Tanto para os motores quanto para as bombas, há uma tendência de serem menos eficientes quanto menores forem as suas potências. Para uma pressão maior de trabalho, a linearidade no rendimento do motor é mais constante do que para a pressão menor, como é observado comparando-se as duas figuras.

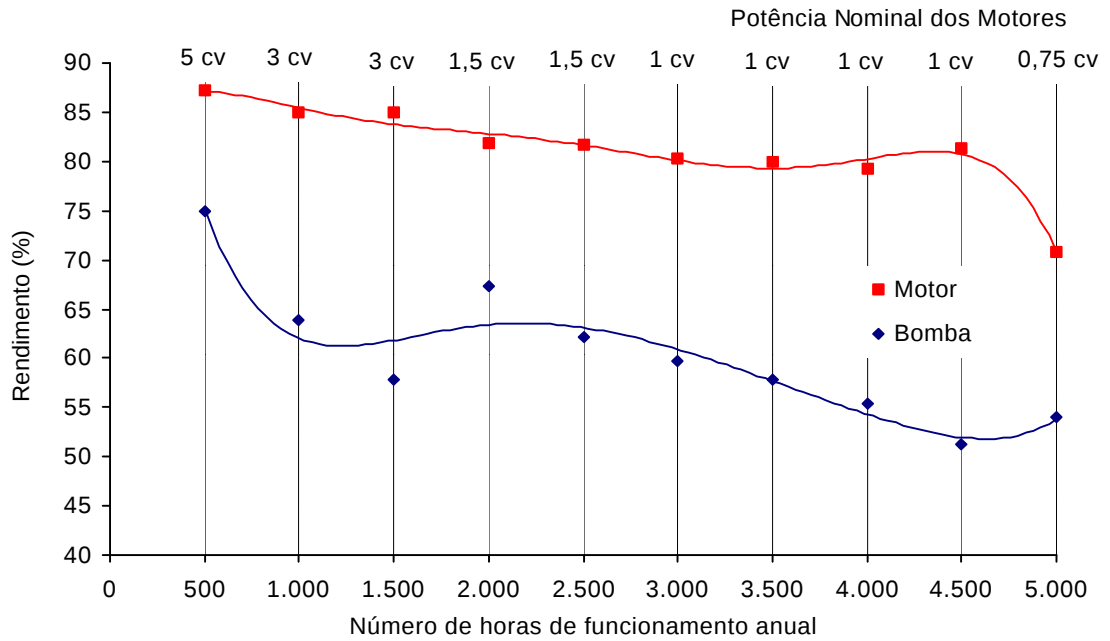


Figura 2 – Rendimento de bombas e motores elétricos de alto rendimento em sistemas de irrigação localizada de 2 ha, com lâmina de água para irrigação de 5 mm.dia⁻¹ e pressão de 196 kPa (20 mca), em função do número de horas de funcionamento anual.

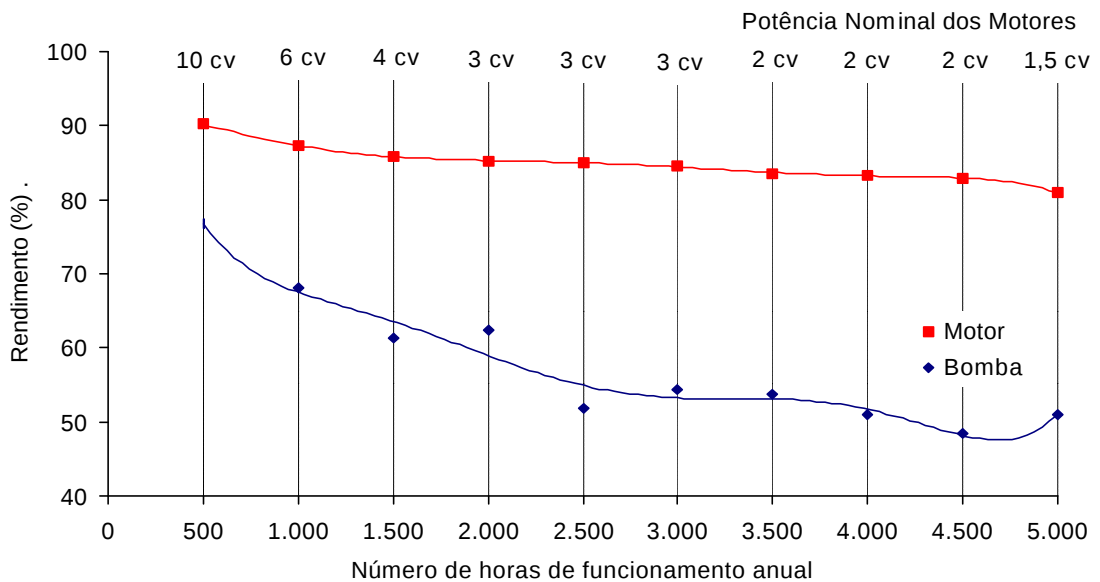


Figura 3 – Rendimento de bombas e de motores elétricos de alto rendimento em sistemas de irrigação por aspersão convencional de 2 ha, com lâmina de água para irrigação de 5 mm.dia⁻¹ e pressão de 392 kPa (40 mca), em função do número de horas de funcionamento anual.

No Quadro 1, apresenta-se o rendimento das bombas e motores de alto rendimento (AR) e convencional (CO), em função do número de horas de funcionamento anual, da área irrigada, da pressão manométrica e de uma lâmina de água para irrigação de 5 mm dia⁻¹.

Em todas as situações estudadas, os motores de alto rendimento apresentaram rendimento superior ao dos motores convencionais (Quadro 1). Em dado número de horas de funcionamento anual, o rendimento dos motores de maior potência foi, na maioria das vezes, superior ao dos de menor potência. Com o aumento do número de horas de funcionamento, a potência dos motores diminui, assim como o rendimento dos motores e das bombas tende a diminuir. As vazões são decrescentes, em função do acréscimo do número de horas, e são proporcionalmente inversas, o que quer dizer que, em geral, para o dobro das horas em funcionamento corresponde a metade da vazão. Observou-se também que um sistema de bombeamento poderá ser o mesmo quando multiplicado por um mesmo fator para a área e para o número de horas de funcionamento; por exemplo, o sistema de irrigação com vazão de 24,1 m³.h⁻¹, com mesma lâmina de água para irrigação, para uma área de 2 hectares e funcionando 1.000 horas por ano, poderá ser utilizado para uma área e número de horas 2,5 vezes maiores, que resultará ao novo sistema o funcionamento de 5 ha e 2.500 h, ou, se a proporção for de 5 vezes maior, o sistema será para 10 ha e 5.000 h. Isso implica que, caso haja disponibilidade de área para irrigação e desconsiderando-se o aumento de potência para bombeamento e de demanda instantânea de água para sistemas, poderá ter ganhos de 150% e de 400% na área irrigada, respectivamente (de 2 ha para 5 ha ou 10 ha).

4.2. Avaliação econômica dos sistemas estudados

- **Gastos anuais com energia elétrica**

As comparações realizadas mostraram como economizar sem alterar o setor produtivo e mantendo a mesma lâmina de água para irrigação, com o aumento do número de horas de funcionamento do motor.

Quadro 1 – Rendimento das bombas e motores de alto rendimento (AR) e convencional (CO), em função do número de horas de funcionamento anual, da área irrigada e da pressão manométrica, para uma lâmina de água para irrigação de 5 mm.dia⁻¹

Horas h.ano ⁻¹	Pressão kPa (mca)	Área de 2 ha						Área de 5 ha						Área de 10 ha					
		Vazão	Potência do Motor	Índice de Carga	Rendimento			Vazão	Potência do Motor	Índice de Carga	Rendimento			Vazão	Potência do Motor	Índice de Carga	Rendimento		
					Bomba	Motor	CO				Bomba	Motor	CO				Bomba	Motor	CO
		m³.h ⁻¹	kW (cv)	%	%	%	%	m³.h ⁻¹	kW (cv)	%	%	%	%	m³.h ⁻¹	kW (cv)	%	%	%	%
500	196 (20)	48,2	3,7 (5)	95,3	74,9	87,2	85,2	120,5	9,2 (12,5)	90,6	78,8	90,5	88,5	240,9	18,5 (25)	87,3	81,8	92,8	90,5
	294 (30)		5,5 (7,5)	95,3	74,9	88,2	86,2		15,0 (20)	84,2	79,5	91,8	89,9		30,0 (40)	81,3	82,3	93,2	91,2
	392 (40)		7,5 (10)	93,1	76,7	90,2	88,9		18,5 (25)	88,2	80,9	92,5	90,8		37,0 (50)	89,3	79,9	93,2	91,8
	490 (50)		11,0 (15)	84,0	70,8	90,2	87,2		22,0 (30)	91,6	81,2	92,2	91,2		45,0 (60)	93,2	79,8	92,8	91,2
1.000	196 (20)	24,1	2,2 (3)	93,2	63,8	84,9	82,9	60,2	4,4 (6)	95,6	77,8	87,2	84,9	120,5	9,2 (12,5)	90,6	78,8	90,5	88,5
	294 (30)		3,7 (5)	82,0	65,3	87,9	84,9		7,5 (10)	85,8	78,0	89,5	87,2		15,0 (20)	84,2	79,5	92,2	89,9
	392 (40)		4,4 (6)	87,2	68,2	87,3	84,9		9,2 (12,5)	93,2	76,6	89,2	87,2		18,5 (25)	88,2	80,9	92,5	90,8
	490 (50)		5,5 (7,5)	94,1	63,2	88,2	86,6		11,0 (15)	99,8	74,5	90,2	87,5		22,0 (30)	91,6	81,2	91,8	91,2
1.500	196 (20)	16,1	2,2 (3)	68,5	57,9	84,9	81,6	40,2	3,7 (5)	88,5	67,2	87,9	84,9	80,3	7,5 (10)	75,3	79,0	89,5	88,2
	294 (30)		3,0 (4)	76,1	58,6	86,2	81,9		5,5 (7,5)	82,6	72,0	88,2	86,6		9,2 (12,5)	88,6	80,6	90,5	88,9
	392 (40)		3,0 (4)	96,9	61,4	85,9	82,9		7,5 (10)	81,6	72,9	90,5	88,5		15,0 (20)	75,1	79,2	91,2	88,5
	490 (50)		4,4 (6)	85,2	58,2	88,5	84,9		9,2 (12,5)	87,0	68,4	90,8	88,5		15,0 (20)	94,1	79,0	91,8	88,9
2.000	196 (20)	12,0	1,1 (1,5)	88,4	67,3	81,9	77,7	30,1	3,0 (4)	84,2	66,2	86,6	82,3	60,2	4,4 (6)	95,6	77,8	87,5	84,9
	294 (30)		2,2 (3)	71,8	62,1	85,2	81,6		3,7 (5)	99,0	67,6	87,2	85,6		7,5 (10)	85,8	78,0	89,2	87,2
	392 (40)		2,2 (3)	95,2	62,5	85,2	82,9		5,5 (7,5)	87,2	68,2	89,9	87,9		9,2 (12,5)	93,2	76,6	89,5	87,2
	490 (50)		3,0 (4)	88,8	62,8	86,6	82,3		7,5 (10)	84,6	65,9	89,5	87,2		11,0 (15)	99,8	74,5	90,2	87,5
2.500	196 (20)	9,6	1,1 (1,5)	76,5	62,2	81,6	76,7	24,1	2,2 (3)	93,2	63,8	84,9	82,9	48,2	3,7 (5)	95,3	74,9	87,2	84,9
	294 (30)		1,5 (2)	91,7	58,4	83,3	80,3		3,7 (5)	82,0	65,3	87,5	84,9		5,5 (7,5)	95,3	74,9	88,2	86,6
	392 (40)		2,2 (3)	91,9	51,8	84,9	81,3		4,4 (6)	87,2	68,2	87,5	84,6		7,5 (10)	93,1	76,7	90,8	88,9
	490 (50)		2,2 (3)	99,3	59,9	84,6	82,9		5,5 (7,5)	94,1	63,2	88,5	86,6		11,0 (15)	84,0	70,8	90,2	87,2

Continua...

Quadro 1, cont.

Horas h.ano ⁻¹	Pressão kPa (mca)	Área de 2 ha						Área de 5 ha						Área de 10 ha								
		Vazão	Potência do Motor	Índice de Carga	Rendimento				Vazão	Potência do Motor	Índice de Carga	Rendimento				Vazão	Potência do Motor	Índice de Carga	Rendimento			
					Bomba		Motor					Bomba		Motor					Bomba		Motor	
		m³.h ⁻¹	kW (cv)	%	%	AR %	CO %	m³.h ⁻¹	kW (cv)	%	%	AR %	CO %	m³.h ⁻¹	kW (cv)	%	%	AR %	CO %			
3.000	196 (20)	8,0	0,75 (1)	99,5	59,8	80,3	76,3	20,1	2,2 (3)	85,0	58,3	84,9	81,3	40,2	3,7 (5)	88,5	67,2	87,9	84,9			
	294 (30)		1,5 (2)	88,0	50,7	83,3	80,0		3,0 (4)	89,5	62,3	85,9	82,9		5,5 (7,5)	82,6	72,0	87,9	86,6			
	392 (40)		2,2 (3)	73,0	54,3	84,6	80,6		3,7 (5)	91,0	65,4	86,9	84,9		7,5 (10)	81,6	72,9	90,5	88,5			
	490 (50)		2,2 (3)	88,7	55,9	85,2	82,3		5,5 (7,5)	83,6	59,3	88,2	86,6		9,2 (12,5)	87,0	68,4	90,8	88,5			
3.500	196 (20)	6,9	0,75 (1)	88,2	57,8	80,0	75,7	17,2	2,2 (3)	72,0	59,0	85,2	81,6	34,4	3,0 (4)	96,0	66,4	86,6	82,6			
	294 (30)		1,1 (1,5)	94,9	53,7	81,0	78,6		3,0 (4)	80,7	59,2	85,6	83,3		4,4 (6)	91,8	69,4	88,9	85,2			
	392 (40)		1,5 (2)	94,9	53,7	83,6	81,9		3,7 (5)	81,4	62,6	86,6	84,6		5,5 (7,5)	95,9	70,9	89,9	87,8			
	490 (50)		2,2 (3)	79,1	53,7	85,2	82,3		4,4 (6)	94,7	56,1	87,5	84,9		7,5 (10)	91,0	70,0	90,8	88,9			
4.000	196 (20)	6,0	0,75 (1)	80,5	55,4	79,3	74,7	15,1	1,5 (2)	93,7	59,5	83,9	82,6	30,1	3,0 (4)	84,2	66,2	86,6	82,3			
	294 (30)		1,1 (1,5)	87,6	50,9	80,6	77,8		2,2 (3)	92,5	60,3	85,2	82,6		3,7 (5)	99,0	67,6	87,2	85,2			
	392 (40)		1,5 (2)	87,6	50,9	83,3	82,3		3,0 (4)	92,5	60,3	85,6	82,9		5,5 (7,5)	87,2	68,2	89,9	87,5			
	490 (50)		2,2 (3)	73,0	50,9	85,2	81,9		3,7 (5)	93,1	59,9	87,9	85,2		7,5 (10)	84,6	65,9	89,5	87,2			
4.500	196 (20)	5,4	0,75 (1)	77,4	51,2	81,3	77,0	13,4	1,1 (1,5)	94,1	70,2	81,9	77,7	26,8	3,0 (4)	76,0	65,2	85,9	81,9			
	294 (30)		1,1 (1,5)	81,8	48,5	80,0	77,7		2,2 (3)	79,9	62,0	85,6	82,3		3,7 (5)	90,1	66,0	86,9	84,9			
	392 (40)		1,5 (2)	81,8	48,5	82,9	81,3		3,0 (4)	79,4	62,4	86,2	82,3		4,4 (6)	96,8	68,3	87,5	84,9			
	490 (50)		2,2 (3)	67,7	48,8	84,6	81,3		3,0 (4)	98,8	62,7	86,2	82,6		7,5 (10)	75,8	65,4	88,9	86,6			
5.000	196 (20)	4,8	0,55(,75)	88,1	54,0	70,7	69,4	12,0	1,1 (1,5)	88,4	67,3	81,9	77,3	24,1	2,2 (3)	93,2	63,8	85,2	82,9			
	294 (30)		1,1 (1,5)	71,2	50,1	79,0	76,0		2,2 (3)	71,8	62,1	84,9	81,9		3,7 (5)	82,0	65,3	87,5	84,9			
	392 (40)		1,1 (1,5)	93,3	51,0	81,0	78,6		2,2 (3)	95,2	62,5	84,9	83,3		4,4 (6)	87,2	68,2	87,2	84,6			
	490 (50)		1,5 (2)	90,5	49,3	83,9	82,3		3,0 (4)	88,8	62,8	86,6	82,3		5,5 (7,5)	94,1	63,2	88,5	86,6			

Nas Figuras 4 e 5, apresentam-se os gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação para uma área de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia^{-1} e pressões de 196 e 392 kPa (20 e 40 mca), respectivamente, com motores de alto rendimento e convencional. Observa-se, nessas figuras, que sistemas com pressão de 196 kPa (20 mca) podem representar o tipo de irrigação localizada, enquanto aqueles com pressão de 392 kPa (40 mca) podem representar o tipo de irrigação por aspersão convencional.

Analisando a Figura 4, observa-se que entre 2.500 e 3.000 horas ocorre a situação mais otimizada e a Figura 5, a situação mais otimizada fica entre 4.000 e 4.500 horas para o melhor aproveitamento dos rendimentos dos motores com menor gasto de energia elétrica, verificando também que nem sempre o motor de menor potência corresponde à melhor decisão quanto aos gastos.

A Figura 4 representa pressões de 196 kPa e a Figura 5, 392 kPa. Analisando esses dois tipos diferentes de sistemas de irrigação, conclui-se que, quanto maior a pressão manométrica nos motores de alto rendimento e convencional, menor a diferença dos gastos de energia elétrica entre ambos.

Nas Figuras 6 e 7, mostram-se os gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2, 5 e 10 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia^{-1} e pressões de 196 e 392 kPa (20 e 40 mca), respectivamente, com uso de motores elétricos de alto rendimento.

Analisando as Figuras 6 e 7, observa-se que numa área de 10 ha há diminuição no rendimento do conjunto motor e bomba entre 4.000 e 5.000 horas. Uma área de 2 ha requer motores menores que as de 5 e 10 ha. Com o aumento do número de horas, a potência dos motores tende a diminuir, assim como os gastos com energia tem uma menor variação. O ponto ótimo dessas curvas situa-se entre 3.500 e 4.000 horas. A curva de tendência tem menor variação para o caso de 2 ha do que a curva para o caso de 10 ha, podendo-se concluir que, quanto menor a potência dos motores, melhor a linearidade entre eles e menor a diferença nos gastos totais com energia elétrica.

Na comparação entre as Figuras 6 e 7, para pressões de 196 e 392 kPa (20 e 40 mca), a diferença nos gastos com energia são maiores quanto maiores forem as pressões manométricas. Notou-se também que as curvas de tendência apresentadas nessas duas figuras têm a mesma configuração geral.

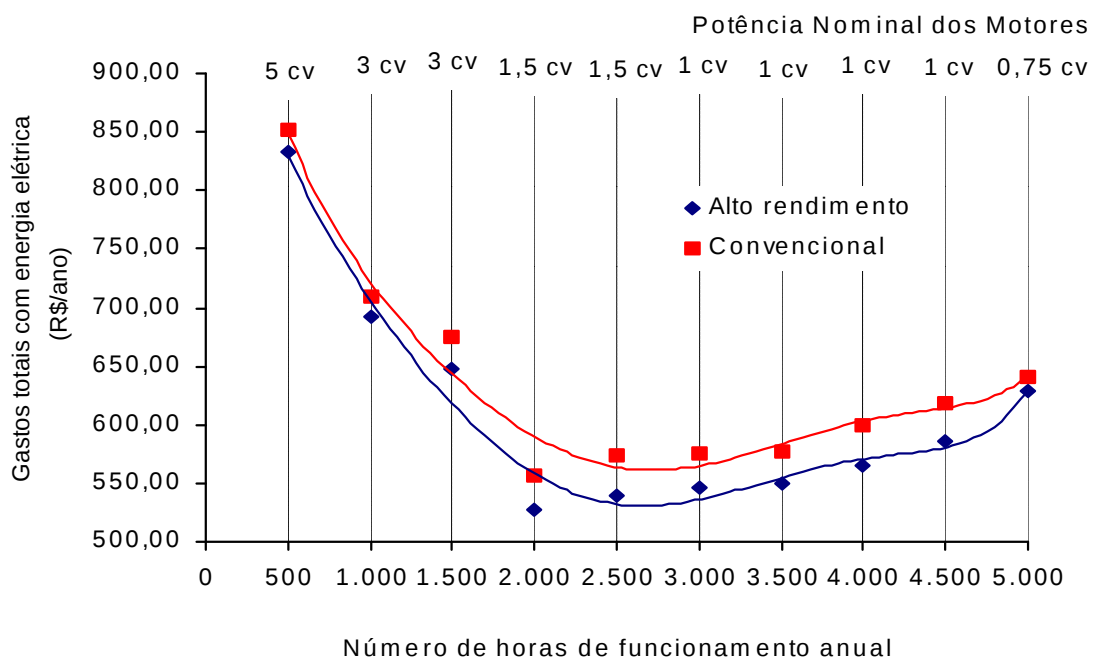


Figura 4 – Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia⁻¹ e pressão de 196 kPa (20 mca), com motores de alto rendimento e convencional.

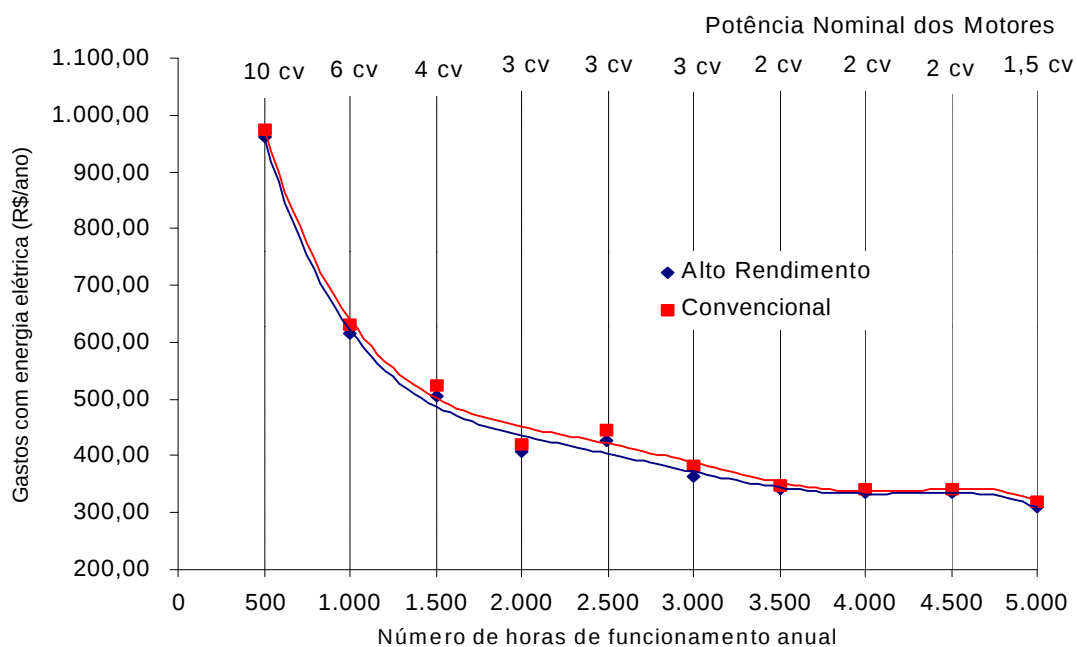


Figura 5 – Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia⁻¹ e pressão de 392 kPa (40 mca), para motores elétricos de alto rendimento e convencional.

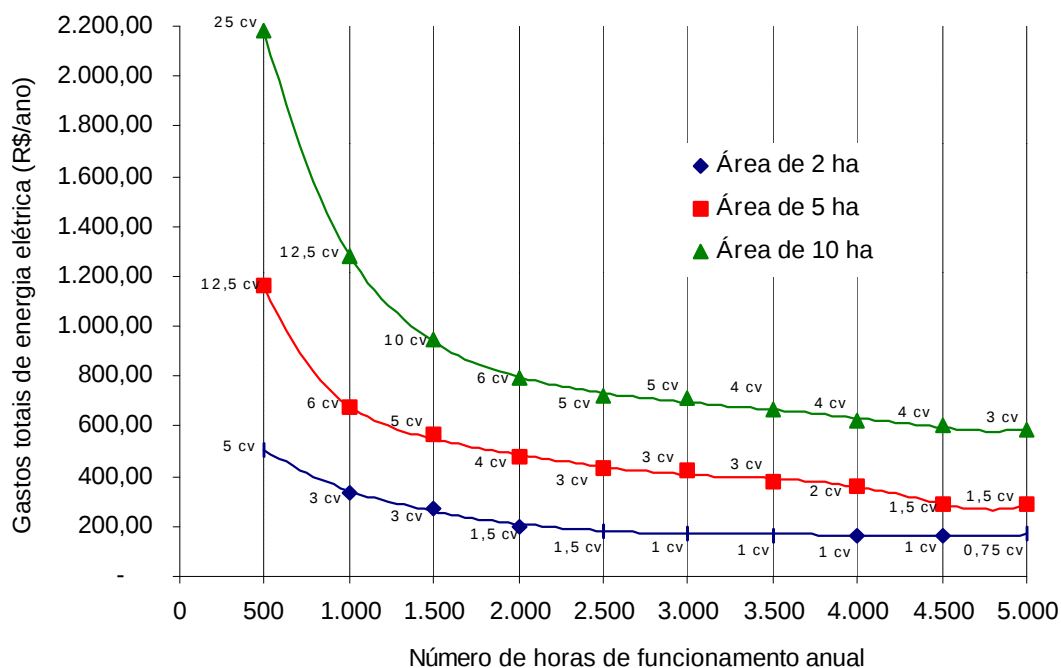


Figura 6 – Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2, 5 e 10 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia^{-1} e pressão de 196 kPa (20 mca), com motores elétricos de alto rendimento.

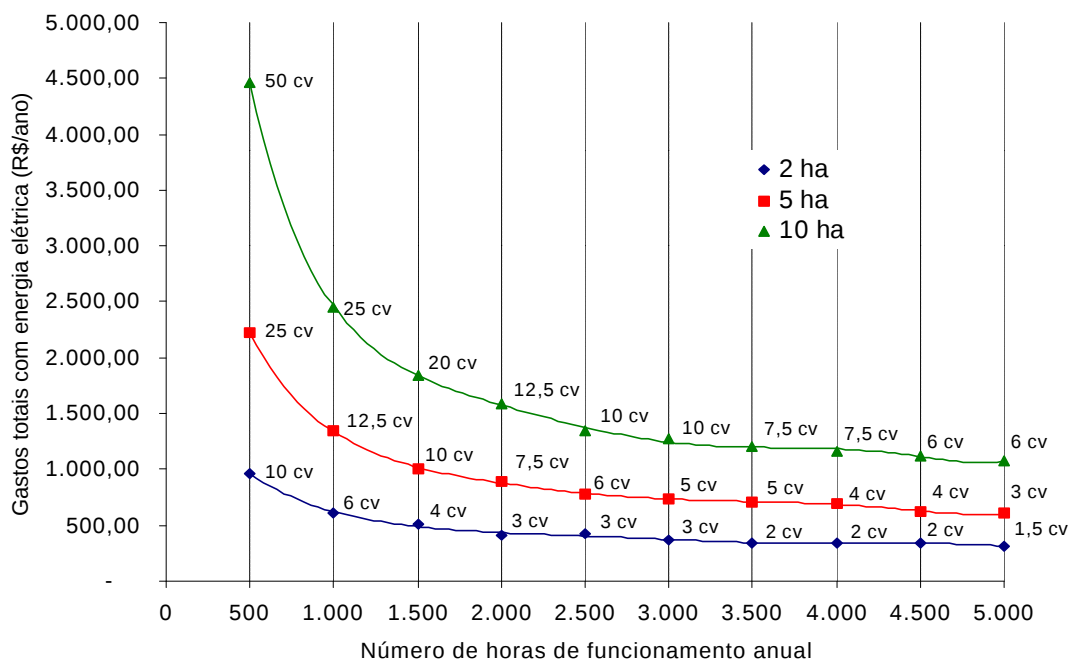


Figura 7 – Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2, 5 e 10 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia^{-1} e pressão de 392 kPa (40 mca), com motor elétrico de alto rendimento.

Na Figura 8, mostram-se os gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia⁻¹ e pressões de 196, 294, 392 e 490 kPa (20, 30, 40 e 50 mca), para motores de alto rendimento. Os valores da tarifa de energia horo-sazonal verde foram usados para o cálculo do consumo e da demanda de energia.

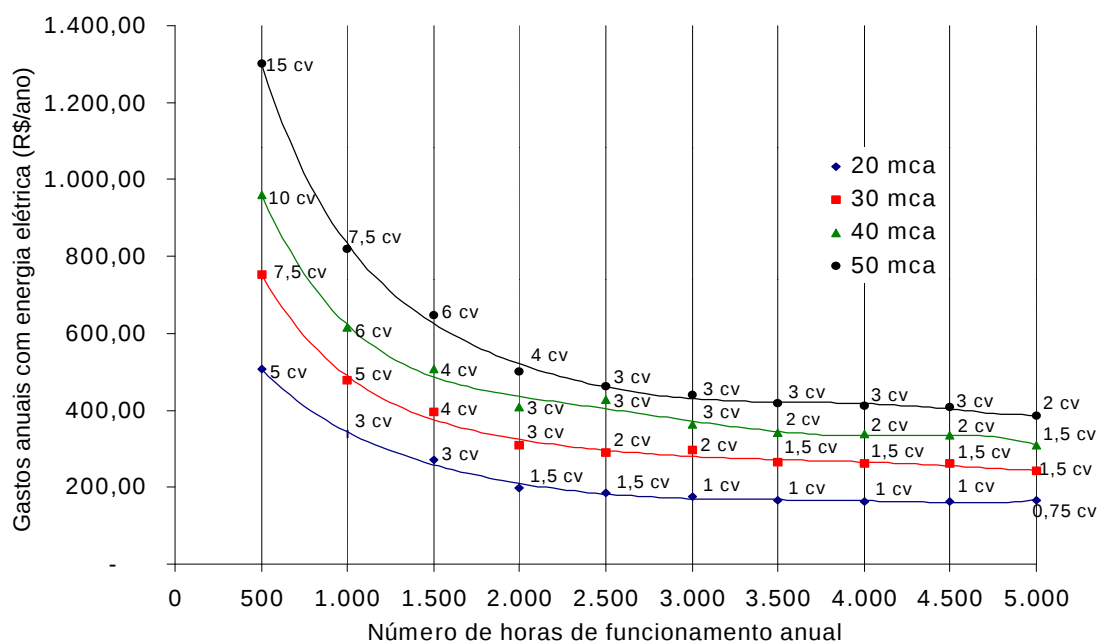


Figura 8 – Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia⁻¹ e pressões de 196, 294, 392 e 490 kPa (20, 30, 40 e 50 mca), para motores elétricos de alto rendimento.

Pelos dados representativos de uma área de 2 ha, a Figura 8 ilustra que, quanto maior a pressão, maior o consumo anual de energia elétrica. Os gastos com energia elétrica com 500 h de funcionamento para as pressões de 196 kPa (20 mca) e 392 kPa (40 mca) foram de, aproximadamente, R\$300,00 e R\$950,00, respectivamente. Com o aumento para 2.000 h, os gastos foram de, aproximadamente, R\$200,00 e R\$400,00. Neste caso, para uma mesma área, o aumento de quatro vezes no número de horas de funcionamento reduziu os gastos com energia elétrica em 66% e 42%, respectivamente.

As Figuras 9 e 10 mostram os gastos anuais com energia elétrica (consumo, demanda e total) para irrigação, para área de 2 ha, com pressões de 196 kPa e 392 kPa (20 e 40 mca), respectivamente, lâmina de água de 5 mm dia⁻¹, com uso de motores elétricos de alto rendimento.

Analisando as Figuras 9 e 10, nota-se que, para motores com potências maiores e menor número de horas de funcionamento, os gastos com a demanda de energia elétrica foram superiores aos com consumo de energia em todas as situações, exceto a partir do limite entre 3.500 e 4.500 horas, em que a curva representada pelo consumo é superior à da demanda. O gasto com a demanda de energia elétrica é maior quando o número de horas anuais de funcionamento é menor, enquanto para o consumo de energia elétrica o aumento foi crescente, com pouca variação.

Outra análise das Figuras 9 e 10 pode mostrar dois sistemas de irrigação diferentes: a irrigação localizada, com pressão de 196 kPa (20 mca), e a convencional, com 392 kPa (40 mca). Analisando conjuntamente o gasto total com energia elétrica do sistema de irrigação, representado pela Figura 10, observa-se que ele é quase 60% maior do que aquele representado pela Figura 9. Daí conclui-se que, quanto maior a pressão, maiores os gastos com energia elétrica.

No Quadro 2, mostram-se o consumo anual, a demanda e os custos da água bombeada por meio da utilização de motores de alto rendimento e convencional, em áreas de 2 e 10 ha, para pressões de 196, 294, 392 e 490 kPa, em função do número de horas de funcionamento anual desses motores (500, 1.000, 1.500, 2.000 e 2.500 h).

Analisando o Quadro 2, observa-se que, para 1.000 e 5.000 horas anuais de funcionamento, o custo da água chega a uma diferença de, aproximadamente, 2,86 vezes menor numa área cinco vezes maior, para qualquer um dos motores estudados. O aumento do número de horas de funcionamento pode proporcionar um ganho no custo da conta de energia, com motores menores e mantendo a mesma lâmina de água para irrigação. Por exemplo, em 1.000 horas por ano, com pressão manométrica de 196 kPa (20 mca), motor de alto rendimento de 2,2 kW (3 cv) e uma área de 2 ha, o custo de 1.000 m³ de água é de R\$14,03. Comparando-se com 5.000 horas de funcionamento por ano e mantendo a mesma área, a mesma lâmina de água

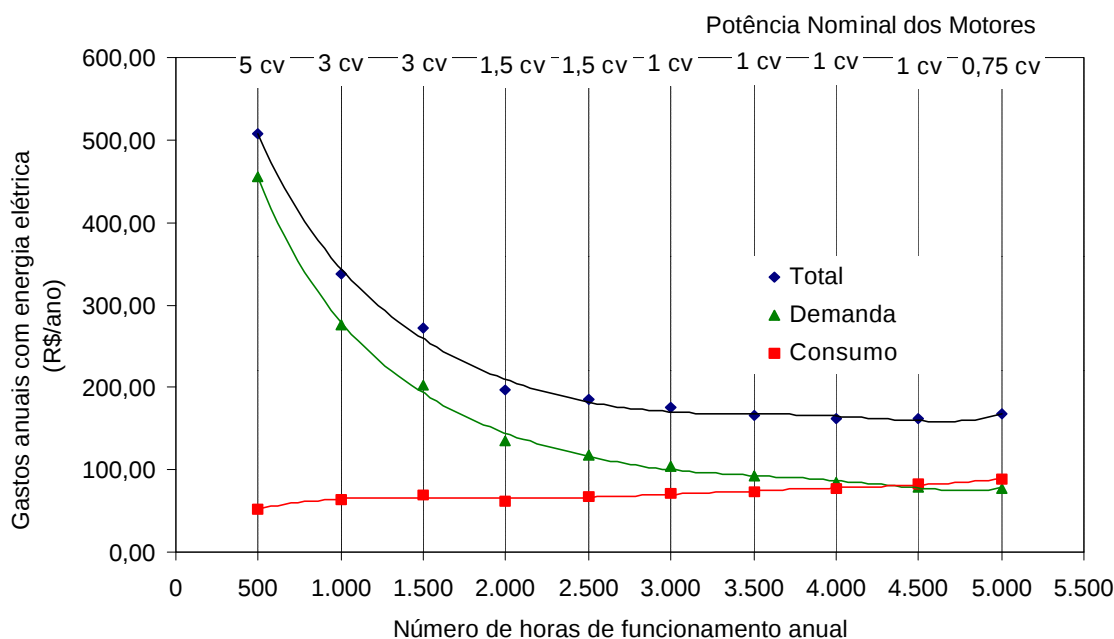


Figura 9 – Gastos anuais com energia elétrica (consumo, demanda e total) para irrigação, de uma área de 2 ha, com pressões de 196 kPa (20 mca) e lâmina de água de 5 mm.dia⁻¹, com motores elétricos de alto rendimento.

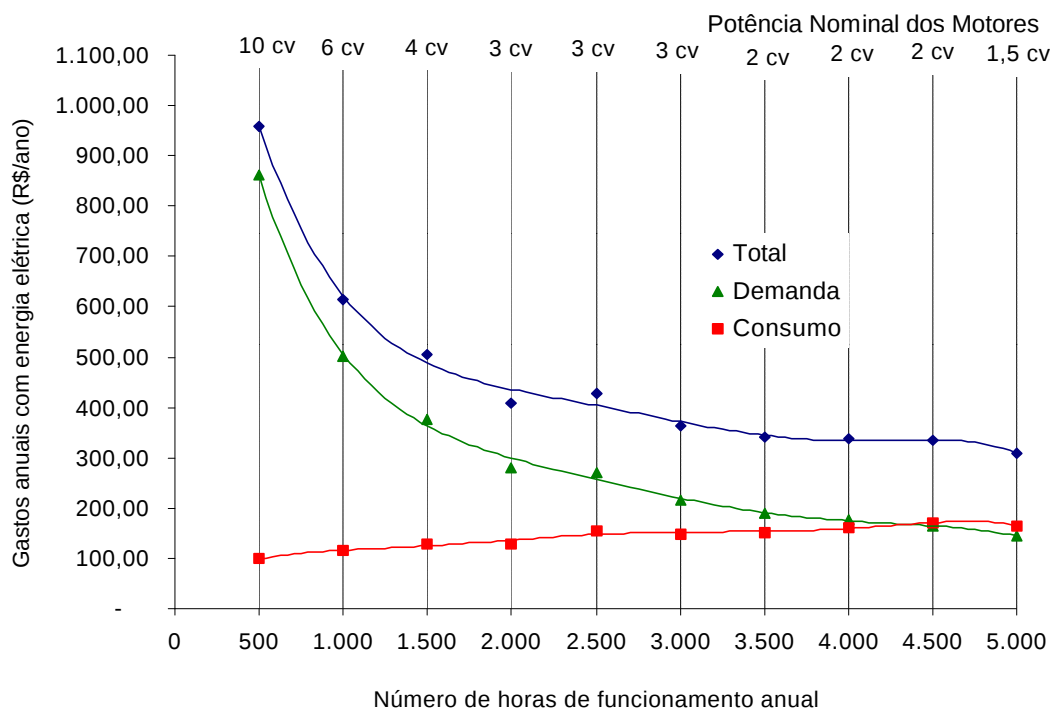


Figura 10 – Gastos anuais com energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 ha, com lâmina de água de 5 mm.dia⁻¹ e pressão de 392 kPa (40 mca), com motores de alto rendimento.

Quadro 2 – Consumo anual, demanda e custos da água bombeada por meio da utilização de motores de alto rendimento e convencional em áreas de 2 e 10 ha, para pressões manométricas de 196, 294, 392 e 490 kPa, em função do número de horas de funcionamento anual dos motores (500, 1.000, 1.500, 2.000 e 2.500 h) para tarifa verde

Horas Anuais h.ano ⁻¹	Pressão kPa (mca)	Área de 2 ha							Área de 10 ha						
		Potência do Motor kW (cv)	Motor de Alto Rendimento			Motor Convencional			Potência do Motor kW (cv)	Motor de Alto Rendimento			Motor Convencional		
			Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Custo da Água R\$/1.000 m ³	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Custo da Água R\$/1.000 m ³		Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Custo da Água R\$/1.000 m ³	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Custo da Água R\$/1.000 m ³
500	196 (20)	3,7 (5,0)	2.011	48	21,10	2.057	49	21,59	18,5 (25,0)	8.649	208	18,15	8.870	213	18,62
	294 (30)	5,5 (7,5)	2.982	72	31,29	3.051	73	32,01	30,0 (40,0)	12.849	308	26,97	13.128	315	27,55
	392 (40)	7,5 (10,0)	3.798	91	39,85	3.854	92	40,44	37,0 (50,0)	17.646	424	37,04	17.900	430	37,57
	490 (50)	11,0 (15,0)	5.143	123	53,97	5.318	128	55,80	45,0 (60,0)	22.164	532	46,52	22.565	542	47,36
1.000	196 (20)	2,2 (3,0)	2.425	29	14,03	2.482	30	14,36	9,2 (12,5)	9.207	110	10,66	9.413	113	10,89
	294 (30)	3,7 (5,0)	3.433	41	19,87	3.553	43	20,56	15,0 (20,0)	13.444	161	15,56	13.790	165	15,96
	392 (40)	4,4 (6,0)	4.413	53	25,54	4.536	54	26,25	18,5 (25,0)	17.552	211	20,31	17.871	214	20,68
	490 (50)	5,5 (7,5)	5.890	71	34,08	6.003	72	34,73	22,0 (30,0)	22.017	264	25,48	22.176	266	25,66
1.500	196 (20)	2,2 (3,0)	2.672	21	11,27	2.779	22	11,72	7,5 (10,0)	9.285	74	7,83	9.424	75	7,95
	294 (30)	3,0 (4,0)	3.899	31	16,44	4.103	33	17,30	9,2 (12,5)	13.502	108	11,39	13.753	110	11,60
	392 (40)	3,0 (4,0)	4.981	40	21,01	5.159	41	21,76	15,0 (20,0)	18.189	146	15,34	18.731	150	15,80
	490 (50)	4,4 (6,0)	6.372	51	26,88	6.645	53	28,03	15,0 (20,0)	22.630	181	19,09	23.386	187	19,73
2.000	196 (20)	1,1 (1,5)	2.382	14	8,18	2.513	15	8,63	4,4 (6,0)	9.642	58	6,62	9.942	60	6,83
	294 (30)	2,2 (3,0)	3.722	22	12,78	3.887	23	13,34	7,5 (10,0)	14.159	85	9,72	14.480	87	9,94
	392 (40)	2,2 (3,0)	4.931	30	16,93	5.068	30	17,40	9,2 (12,5)	19.153	115	13,15	19.653	118	13,49
	490 (50)	3,0 (4,0)	6.041	36	20,74	6.355	38	21,82	11,0 (15,0)	24.436	147	16,78	25.173	151	17,28
2.500	196 (20)	1,1 (1,5)	2.587	12	7,66	2.754	13	8,16	3,7 (5,0)	10.053	48	5,96	10.327	50	6,12
	294 (30)	1,5 (2,0)	4.052	19	12,00	4.201	20	12,45	5,5 (7,5)	14.910	72	8,83	15.195	73	9,00
	392 (40)	2,2 (3,0)	5.973	29	17,69	6.239	30	18,48	7,5 (10,0)	18.850	90	11,17	19.270	92	11,42
	490 (50)	2,2 (3,0)	6.481	31	19,20	6.610	32	19,58	11,0 (15,0)	25.713	123	15,23	26.588	128	15,75

Continua...

Quadro 2, cont.

Horas Anuais h.ano ⁻¹	Pressão kPa (mca)	Área de 2 ha							Área de 10 ha						
		Potência do Motor kW (cv)	Motor de Alto Rendimento			Motor Convencional			Potência do Motor cv	Motor de Alto Rendimento			Motor Convencional		
			Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Custo da Água R\$/1.000 m ³	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Custo da Água R\$/1.000 m ³		Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Custo da Água R\$/1.000 m ³	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Custo da Água R\$/1.000 m ³
3.000	196 (20)	0,75 (1,0)	2.737	11	7,25	2.877	12	7,62	3,7 (5,0)	11.121	44	5,89	11.510	46	6,10
	294 (30)	1,5 (2,0)	4.667	19	12,36	4.859	19	12,87	5,5 (7,5)	15.569	62	8,25	15.807	63	8,37
	392 (40)	2,2 (3,0)	5.719	23	15,15	6.000	24	15,89	7,5 (10,0)	19.905	80	10,54	20.350	81	10,78
	490 (50)	2,2 (3,0)	6.892	28	18,25	7.139	29	18,91	9,2 (12,5)	26.422	106	13,99	27.111	108	14,36
3.500	196 (20)	0,75 (1,0)	2.842	10	6,89	2.977	10	7,22	3,0 (4,0)	11.427	39	5,54	11.973	41	5,81
	294 (30)	1,1 (1,5)	4.532	16	10,99	4.665	16	11,31	4,4 (6,0)	15.973	55	7,74	16.653	57	8,07
	392 (40)	1,5 (2,0)	5.852	20	14,19	5.970	20	14,47	5,5 (7,5)	20.617	71	10,00	21.088	72	10,22
	490 (50)	2,2 (3,0)	7.174	25	17,39	7.432	25	18,02	7,5 (10,0)	25.818	89	12,52	26.393	90	12,80
4.000	196 (20)	0,75 (1,0)	2.989	9	6,74	3.174	10	7,16	3,0 (4,0)	11.461	34	5,17	12.057	36	5,44
	294 (30)	1,1 (1,5)	4.801	14	10,83	4.976	15	11,23	3,7 (5,0)	16.708	50	7,54	17.096	51	7,71
	392 (40)	1,5 (2,0)	6.198	19	13,98	6.273	19	14,15	5,5 (7,5)	21.433	64	9,67	21.998	66	9,93
	490 (50)	2,2 (3,0)	7.569	23	17,08	7.872	24	17,76	7,5 (10,0)	27.828	83	12,56	28.565	86	12,89
4.500	196 (20)	0,75 (1,0)	3.156	8	6,71	3.332	9	7,08	3,0 (4,0)	11.726	31	4,98	12.292	33	5,22
	294 (30)	1,1 (1,5)	5.080	14	10,80	5.231	14	11,12	3,7 (5,0)	17.178	46	7,30	17.579	47	7,47
	392 (40)	1,5 (2,0)	6.531	17	13,88	6.663	18	14,16	4,4 (6,0)	21.966	59	9,34	22.649	60	9,63
	490 (50)	2,2 (3,0)	7.955	21	16,91	8.278	22	17,59	7,5 (10,0)	28.249	75	12,01	29.003	77	12,33
5.000	196 (20)	0,55 (0,75)	3.439	8	6,95	3.505	8	7,08	2,2 (3,0)	12.076	29	4,88	12.411	30	5,02
	294 (30)	1,1 (1,5)	4.979	12	10,06	5.174	12	10,46	3,7 (5,0)	17.231	41	6,96	17.767	43	7,18
	392 (40)	1,1 (1,5)	6.362	15	12,86	6.549	16	13,23	4,4 (6,0)	22.082	53	8,92	22.768	55	9,20
	490 (50)	1,5 (2,0)	7.936	19	16,04	8.095	19	16,36	5,5 (7,5)	29.342	70	11,86	30.013	72	12,13

Nota: (1) tarifa horo-sazonal verde de R\$0,026 kWh⁻¹ para energia e R\$9,450 kW⁻¹ para demanda.

para irrigação e a mesma pressão, o motor a ser utilizado é de 0,55 kW (0,75 cv), proporcionando um custo de 1.000 m³ de água de R\$6,95, uma redução de 50,5%. Também, para 1.000 horas de funcionamento anual, para 2 ha e utilizando a mesma potência do motor de alto rendimento de 2,2 kW (3 cv) e pressão correspondente a um custo de 1.000 m³ de água de R\$14,03 e comparando 5.000 horas de funcionamento anual para 10 ha, o custo de 1.000 m³ de água é de R\$4,88, proporcionando um aumento de cinco vezes na área plantada, com uma diminuição na conta de energia para bombear 1.000 m³ de 65,2%. Pôde-se observar que, com o aumento da potência dos motores, o custo da água para irrigação reduziu, o que pode ser explicado pelo fato de que motores com potências maiores são mais eficientes.

● Índices econômicos

No Quadro 3, apresentam-se os índices econômicos de motores de alto rendimento (AR), em relação aos convencionais (CO), para uma área de 2 ha, com taxas de juros de 8% ao ano, aumento da energia acima da inflação de 2%, custo de manutenção de 1%, e um horizonte de planejamento de 10 anos. A análise econômica dos outros motores de alto rendimento (AR), em relação aos convencionais (CO), para uma área de 5 e 10 ha, com taxas de juros de 8% ao ano, aumento da energia acima da inflação de 2%, custos de manutenção de 1% e um horizonte de planejamento de 10 anos, encontra-se no Apêndice C.

Analisando o Quadro 3, conclui-se que, para simulação com aumento do número de horas de funcionamento anual em 10 vezes (de 500 para 5.000 horas):

- (i) A potência solicitada pelos motores é reduzida entre 5 e 7,3 vezes para todas as situações apresentadas de pressões, o que indica o ganho significativo na potência instalada.
- (ii) Em média, os gastos com energia elétrica são 3,1 vezes menor, com uma redução no preço dos motores variando de 2,6 a 4 vezes.
- (iii) O uso do motor de alto rendimento foi pouco significativo, uma vez que os gastos anuais têm poucas variações dentre os motores analisados. O tempo de retorno de capital (TRC) analisado ocorreu em 11 situações abaixo de 5 anos, que correspondeu a 27%.

Quadro 3 – Índices econômicos de motores de alto rendimento (AR) em relação aos convencionais (CO), para uma área de 2 ha, com taxas de juros de 8% ao ano, aumento da energia acima da inflação de 2%, custos de manutenção de 1% e um horizonte de planejamento de 10 anos

Horas Anuais	Potência do Motor	Gastos Anuais com Energia Elétrica (consumo e demanda)		Preço do Motor		TIR	VPL	RBC	TRC
		AR	CO	AR	CO				
		kW (cv)	R\$.ano ⁻¹	R\$.ano ⁻¹	R\$				
196 kPa (20 mca)									
500	3,7 (5)	508,29	520,10	734,52	602,56	-2	-53,4	0,4	-
1.000	2,2 (3)	338,00	346,03	332,35	454,66	-5	-52,6	0,5	-
1.500	2,2 (3)	271,45	282,39	332,35	454,66	1	-31,1	0,3	9
2.000	1,1 (1,5)	196,96	207,84	207,15	321,86	21	31,2	0,7	4
2.500	1,1 (1,5)	184,63	196,55	207,15	321,86	24	38,9	0,8	3
3.000	0,75 (1)	174,60	183,57	183,36	260,44	12	9,7	0,2	5
3.500	0,75 (1)	165,96	173,86	183,36	260,44	9	1,8	0,0	6
4.000	0,75 (1)	162,48	172,53	183,36	260,44	15	17,7	0,3	5
4.500	0,75 (1)	161,58	170,59	197,85	288,52	12	9,5	0,2	5
5.000	0,55(,75)	167,42	170,60	180,00	270,00	-6	-24,5	0,5	-
294 kPa (30 mca)									
500	5,5 (7,5)	753,87	771,19	584,20	773,80	-2	-82,4	0,4	-
1.000	3,7 (5)	478,61	495,35	464,78	617,26	2	-42,7	0,3	9
1.500	3,0 (4)	396,15	416,84	433,44	583,94	8	2,2	0,0	6
2.000	2,2 (3)	307,82	321,47	332,35	454,66	6	-11,0	0,1	7
2.500	1,5 (2)	289,12	299,81	230,84	352,98	16	21,2	0,4	5
3.000	1,5 (2)	297,75	310,04	230,84	352,98	20	33,0	0,6	4
3.500	1,1 (1,5)	264,66	272,44	223,87	322,74	5	-9,2	0,1	7
4.000	1,1 (1,5)	260,92	270,45	223,87	322,74	9	3,8	0,1	6
4.500	1,1 (1,5)	260,09	267,83	223,87	322,74	5	-9,4	0,2	7
5.000	1,1 (1,5)	242,39	251,87	223,87	322,74	9	3,4	0,1	6
392 kPa (40 mca)									
500	7,5 (10)	960,02	974,29	760,81	1064,10	-8	-138,6	0,6	-
1.000	4,4 (6)	615,21	632,38	520,55	748,02	3	-29,3	0,2	8
1.500	3,0 (4)	506,05	524,11	369,44	477,92	7	-5,6	0,0	7
2.000	2,2(3)	407,80	419,11	332,35	454,66	2	-28,4	0,3	9
2.500	2,2 (3)	426,21	445,20	274,34	430,64	31	77,5	1,3	3
3.000	2,2 (3)	364,89	382,81	274,34	430,64	29	69,7	1,2	3
3.500	1,5 (2)	341,74	348,62	273,75	393,30	-2	-31,3	0,4	-
4.000	1,5 (2)	336,87	340,92	273,75	393,30	-11	-52,3	0,7	-
4.500	1,5(2)	334,37	341,16	273,75	393,30	-2	-32,0	0,4	-
5.000	1,1 (1,5)	309,72	318,82	223,87	322,74	8	0,6	0,0	6
490 kPa (50 mca)									
500	11,0 (15)	1300,03	1344,31	952,22	1278,92	8	-6,1	0,0	6
1.000	5,5 (7,5)	821,10	836,76	584,20	773,80	-4	-94,7	0,5	-
1.500	4,4 (6)	647,44	675,12	555,32	839,84	17	60,4	0,4	4
2.000	3,0 (4)	499,57	525,56	433,44	583,94	14	41,4	0,3	5
2.500	2,2 (3)	462,47	471,67	332,35	454,66	-2	-44,0	0,4	-
3.000	2,2 (3)	439,68	455,50	332,35	454,66	9	5,0	0,0	6
3.500	2,2 (3)	418,95	434,03	332,35	454,66	8	-0,5	0,0	6
4.000	2,2 (3)	411,35	427,86	332,35	454,66	10	10,2	0,1	6
4.500	2,2 (3)	407,29	423,83	332,35	454,66	10	10,3	0,1	6
5.000	1,5 (2)	386,33	394,08	273,75	393,30	0	-24,9	0,3	9

5. CONCLUSÃO

- (i) A otimização do número de horas de funcionamento como fator de racionalização proporciona custos finais menores com energia elétrica.
- (ii) O uso de uma mesma lâmina de água para irrigação pôde causar uma redução na potência dos motores, aumentar a área irrigada e manter o nível de água nos mananciais hídricos.
- (iii) Houve uma redução, em média, da potência dos motores pela metade, quando o número de horas de funcionamento foi duplicado. Para um acréscimo de 500 para 5.000 horas de funcionamento, a potência dos motores pode chegar, nos casos estudados, para uma área de 2 ha, a uma redução de 7,5 vezes; para áreas de 5 e 10 ha, essa redução chegou a 8,3 vezes.
- (iv) Com o uso das planilhas eletrônicas dos fabricantes de motores, os resultados obtidos geraram informações de que um mesmo motor, trabalhando em uma área de 2 ha, pode ser o mesmo para 10 ha, com uma mesma lâmina de água para irrigação; aumentando o funcionamento de 500 para 5.000 horas, pode-se reduzir a potência do motor elétrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPANA, S. **Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipos pivô central e aspersão convencional**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos**. Irrigação e Tecnologia Moderna - ITEM/Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem. [S.l.:s.n.], 2002. (ABID. Nº 54).
- FRIZZONE, J. A.; SILVEIRA, S. de F. R. Avaliação e custos de projetos de irrigação. In: SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., CEMIG, 2000, Uberaba. **Anais...** [S.l.:s.n.], 2000. v.1, p. 1-87.
- KOHLBACH, **Catálogo eletrônico 2000**, versão 1.0. Jaraguá do Sul, SC. Disponível em: <www.kohlbach.com.br>. Acesso em: 23 mar. 2003.
- SANTOS, W. L. **Desenvolvimento de um metodologia para representação analítica de curvas características de bombas hidráulicas, visando à sua seleção, seu dimensionamento e a simulação de sua operação**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2001. 698 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SANTOS, W. L. **Agribombas** - Programa racional para seleção de bombas agrícolas, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2000. Disponível via URL em: <www.ufv.br>.
- WEG, **Catálogo eletrônico 2000**. Jaraguá do Sul, SC. Disponível em: <www.weg.com.br>. Acesso em: 01 ago. 2002.

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS FATORES DE SEGURANÇA APLICADOS
AO DIMENSIONAMENTO DE MOTOBOMBAS PARA IRRIGAÇÃO
UTILIZANDO MOTORES DE ALTO RENDIMENTO**

RESUMO

A seleção do motor para determinada aplicação determina o seu custo inicial e também o seu custo de operação. O emprego de motores com potência insuficiente pode acarretar funcionamento inadequado do sistema a ele acoplado, resultando numa baixa produtividade. Também, pode resultar em avarias prematuras no motor. No entanto, um motor de potência acima da necessária, além de um custo inicial maior, resultará num baixo rendimento, baixo fator de potência e vida útil reduzida. Todas essas conseqüências são indesejáveis, dos pontos de vista econômico e técnico. Num contexto mais amplo, a correta aplicação e seleção de motores assumem grande importância na atualidade, devido ao crescente custo e à escassez de energia verificados não apenas no Brasil, mas também em outros países.

A utilização ou não de fatores de acréscimo na potência nominal cria uma discussão em torno dos novos tipos e modelos de motores disponíveis no mercado, cada vez mais eficientes, bem como dos sistemas de transmissão de energia elétrica, possibilitando ao projetista maior flexibilidade na apresentação de resultados econômicos.

Os motores atuais têm uma reserva de potência de tal forma que, quando é exigido dele mais potência, não se altera o seu quadro de trabalho, garantindo uma opção a mais no uso de cargas variáveis. O fator de serviço não é uma sobrecarga momentânea do motor e sim um fator multiplicador da potência nominal, que possibilita a sua adequação para as condições de carga e em regime contínuo.

1. INTRODUÇÃO

O motor elétrico é um equipamento responsável pela transformação da energia elétrica em energia mecânica, sendo na maioria dos segmentos econômicos rurais e industriais, a principal forma de uso final da energia elétrica. O motor mais usado é o de indução, inventado por Michael Von Dolivo Dobrowolsky em 1889, em Berlim. Desde aquela época, o motor de indução evoluiu muito. Diminuiu-se o seu peso e aumentou o seu rendimento, melhorando-se a tecnologia dos materiais isolantes e magnéticos e do projeto como um todo. Para se ter uma idéia, em 1891 o motor de indução pesava 88 kg/kW, enquanto atualmente são 6,3 kg/kW (UFJF, 2000).

Para o dimensionamento da potência requerida de um motor, fatores de segurança e, ou, de acréscimo são, em geral, considerados como garantia de sucesso do funcionamento. Um dos casos que se pode citar é o dimensionamento de um sistema de irrigação que depende da determinação do coeficiente de cultura (k_c), da evapotranspiração de referência (E_{to}), do tipo de tubulação, das perdas localizadas nos vários componentes, da uniformidade de distribuição da água, da escolha do rotor da bomba e do sistema de acionamento do motor elétrico e até da uniformidade da tensão das redes elétricas. Para que se possa dimensionar a potência de um motor, as folgas técnicas vão se acumulando, podendo gerar um superdimensionamento, que provocará desperdício de energia, bem como o emprego de maior capital em equipamento, devido ao baixo rendimento e ao baixo fator de potência.

Um menor rendimento em motores, em geral, ocorre se o índice de carregamento for menor. Equipamentos superdimensionados acarretam maiores investimentos iniciais.

O rendimento e o fator de potência variam com a carga do motor. As curvas características dos motores indicam os valores típicos do rendimento e do fator de potência em função da carga. Normalmente, a curva característica de rendimento de um motor de indução apresenta valores maiores quando a carga do motor é de cerca de 75% a 100% de sua capacidade nominal, enquanto seu fator de potência atinge o valor máximo com 100% a 125% de carregamento nominal. Portanto, com um carregamento abaixo de 75% do nominal, os motores elétricos requerem, proporcionalmente, maior quantidade de energia elétrica para produzir a mesma energia mecânica. As perdas são mais baixas em motores de alto rendimento (UFJF, 2000; WEG, 2000; KOHLBACK, 2000).

Para que se possa industrializar ou construir um equipamento é preciso consultar a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros e dos Organismos de Normalização Setorial, são elaboradas por Comissões de Estudo, formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os motores elétricos fabricados atualmente têm capacidade de suportar cargas de trabalho superiores à da nominal. A percentagem de sobrecarga que um motor elétrico suporta é chamada de fator de serviço (FS).

O fator de serviço é um multiplicador que, quando aplicado à potência nominal do motor, indica a carga que pode ser acionada continuamente sob tensão e frequência nominais e com limite de elevação da temperatura de enrolamento. Os valores de rendimento, fator de potência e velocidade podem diferir dos nominais, porém o conjugado e a corrente com rotor bloqueado e o conjugado máximo permanecem inalterados. A utilização do fator de serviço implica em vida útil inferior (ou seja, não se sabe quanto a vida útil diminui quando se usa o fator de serviço) àquela do motor com carga nominal (ABNT, 1996). Assim, o fator de serviço representa uma reserva de potência que o motor possui, e que pode ser usada em regime contínuo. Quando a potência

efetivamente utilizada corresponde à nominal, multiplicada pelo fator de serviço, deve-se admitir elevação de temperatura de 10 °C além do limite de temperatura da classe de isolamento do motor.

A potência nominal é a potência mecânica máxima que o motor pode fornecer no seu eixo, em regime de trabalho e sob condições normais. Trata-se, portanto, da potência de saída do motor, a qual está especificada na placa de identificação. Em geral, essa potência refere-se ao regime de trabalho contínuo.

O fator de serviço não deve ser confundido com a sobrecarga momentânea do motor, a qual vale por curtos períodos de tempo. De acordo com a norma brasileira, motores de aplicação geral devem suportar uma sobrecarga de torque de 60% acima do valor nominal durante 15 segundos.

Motores de alto rendimento têm vantagens sobre os motores convencionais, como: (i) redução do consumo de energia elétrica, (ii) fator de potência mais elevado e (iii) menores temperaturas de operação (ELETROBRÁS, 1998).

Para que um projeto de irrigação tenha melhor aproveitamento técnico, é preciso observar alguns pontos, como: (i) a posição da motobomba, que deve ser bem firme e nivelada, para favorecer um correto alinhamento e evitar trepidações; (ii) a saída da água da bomba para a tubulação de recalque, que deve dispor de instalações de válvula de retenção e registro, para evitar o retorno da água quando o sistema é desligado subitamente; e (iii) a motobomba, que deve ser ligada quando a bomba estiver escorvada. Às vezes, as causas do consumo de energia elétrica exagerado podem ser atribuídas ao fato de a pressão manométrica do sistema de bombeamento ser inferior à calculada, o que aumenta a vazão bombeada, ou de o eixo estar desalinhado ou empenado ou, também, de os mancais estarem muito apertados. Outras considerações de sobrecarga no motor podem ser atribuídas à velocidade de rotação muito alta, ao sentido de rotação errado, a rolamentos gastos, ao engaxetamento mal instalado e ao atrito das partes móveis e fixas.

O fator de segurança, convertido em aumento da potência requerida dos motores, deverá existir para suprir eventuais oscilações nos valores de tensão. O desequilíbrio da rede pode ser calculado pela Equação 1.

$$Dt = \frac{V_{\text{máx}} - V_{\text{méd}}}{V_{\text{méd}}} 100 \quad (1)$$

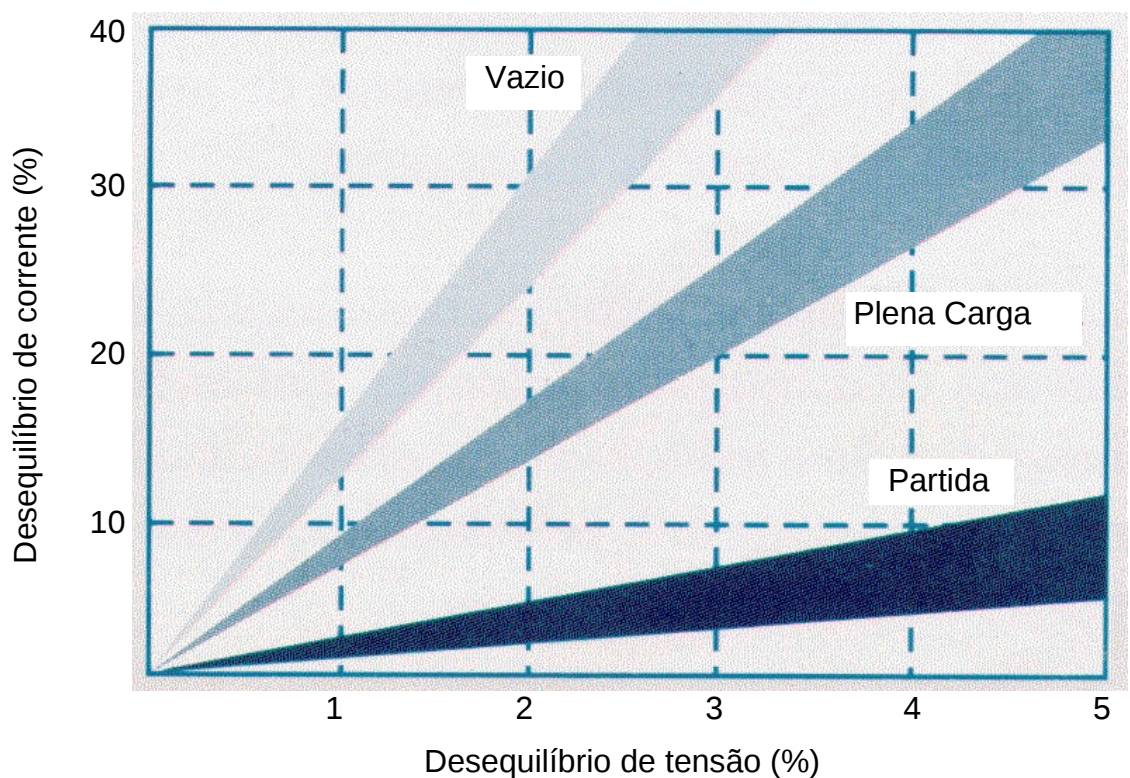
em que

Dt = desequilíbrio de tensão;

$V_{\text{máx}}$ = máxima tensão medida; e

$V_{\text{méd}}$ = valor médio das tensões medidas.

A Figura 1 ilustra a influência do desequilíbrio das tensões sobre o desequilíbrio das correntes, nas condições de partida, de plena carga e a vazio.



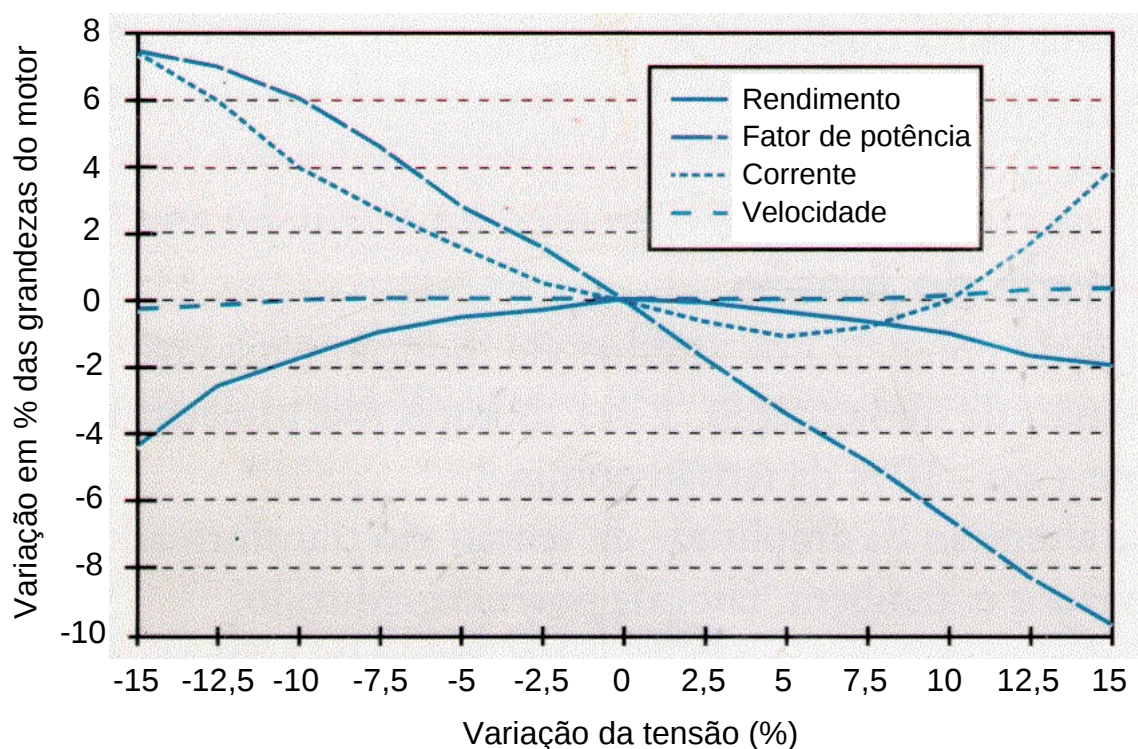
Fonte: ELETROBRÁS (1998)

Figura 1 – Efeito do desequilíbrio da tensão sobre as correntes de um motor de indução trifásico.

Pela análise da Figura 1, observa-se que, quando o desequilíbrio de tensões gera desequilíbrio de corrente, esse efeito é maior ou menor, dependendo da amplitude de variação da tensão.

Os motores são projetados para suportar variações de, aproximadamente, 10% da tensão nominal, mas a variação da amplitude da tensão de alimentação nos motores de indução trifásicos acarretam variações no rendimento e no fator de potência.

Na Figura 2, mostra-se o efeito da variação da amplitude da tensão no rendimento, no fator de potência, na corrente e na velocidade de um motor trifásico operando com carga constante e inferior ao seu valor nominal.

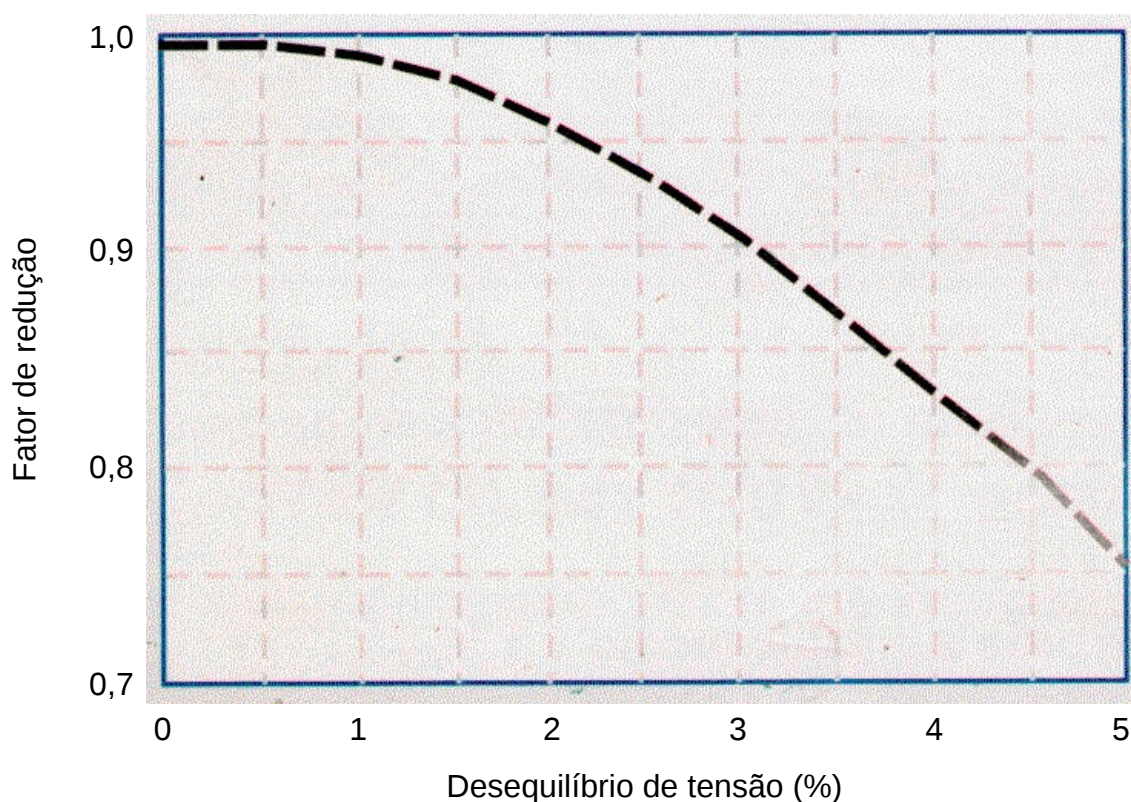


Fonte: ELETROBRÁS (1998)

Figura 2 – Influência da variação da tensão sobre o desempenho de um motor de indução trifásico.

Analisando a Figura 2, observa-se que a tensão equilibrada proporciona ao motor melhor desempenho. A variação da tensão acima da nominal reflete em perdas de rendimento e em baixo fator de potência, em que a concessionária fica passível de aplicação de sobretaxa. Com tensão abaixo da nominal também ocorrem perda no rendimento e alto fator de potência. Já, na corrente, o aumento da tensão tende a uma corrente maior, como também a uma baixa tensão.

A Figura 3 indica os fatores de redução da potência disponível no eixo a serem adotados no valor percentual do desequilíbrio das tensões da rede.



Fonte: ELETROBRÁS (1998)

Figura 3 – Curva do fator de redução da potência disponível no eixo.

Analisando a Figura 3, observa-se que um pequeno desequilíbrio de 3,5% na tensão pode aumentar as perdas do motor em 20%. A tensão da rede deve ser regularmente monitorada, e um desequilíbrio maior do que 1% deve ser corrigido. Valores na faixa de 1% a 2% podem ocasionar significativos aumentos no consumo de energia durante muito tempo, sem serem detectados, principalmente se o motor estiver superdimensionado.

É comum que motores e bombas alterem suas características iniciais de fábrica com o tempo de uso, com manutenções visando à racionalização de investimento e energia, com as modificações estruturais do diâmetro das tubulações (como dobras, materiais sólidos, desgastes), desgastes nos rolamentos, altitude e variação climática, dentre outros. Estudos mais aprofundados devem ser conduzidos para restringir ao máximo os valores do fator de segurança aplicados ao dimensionamento de motores para acionamento de bombas hidráulicas.

No Quadro 1, mostram-se os valores mínimos de rendimento nominal dos motores da linha convencional e de alto rendimento a plena carga.

Quadro 1 – Menores valores exigidos de rendimento nominal a plena carga de motores da linha convencional e de alto rendimento

Potência Nominal		Velocidade Síncrona (rpm)							
		3.600		1.800		1.200		900	
kW	cv	Rendimento Nominal							
		Convencional	Alto rendimento	Convencional	Alto rendimento	Convencional	Alto rendimento	Convencional	Alto rendimento
0,75	1,0	77,0	80,0	78,0	80,5	73,0	80,0	66,0	70,0
1,1	1,5	78,5	82,5	79,0	81,5	75,0	77,0	73,5	77,0
1,5	2,0	81,0	83,5	81,5	84,0	77,0	83,0	77,0	82,5
2,2	3,0	81,5	85,0	83,0	85,0	78,5	83,0	78,0	84,0
3,0	4,0	82,5	85,0	83,0	86,0	81,0	85,0	79,0	84,5
3,7	5,0	84,5	87,5	85,0	87,5	83,5	87,5	80,0	85,5
4,4	6,0	85,0	88,0	85,5	85,5	84,0	87,5	82,0	85,5
5,5	7,5	86,0	88,5	87,0	89,5	85,0	88,0	84,0	85,5
7,5	10,0	87,5	89,5	87,5	89,5	86,0	88,5	85,0	88,5
9,2	12,5	87,5	89,5	87,5	90,0	87,5	88,5	86,0	88,5
11,0	15,0	87,5	90,2	88,5	91,0	89,0	90,2	87,5	88,5
15,0	20,0	88,5	90,2	89,5	91,0	89,5	90,2	85,5	89,5
18,5	25,0	89,5	91,0	90,5	92,4	90,2	91,7	88,5	89,5
22,0	30,0	89,5	91,0	91,0	92,4	91,0	91,7	90,2	91,0
30,0	40,0	90,2	91,7	91,7	93,0	91,7	93,0	90,2	91,0
37,0	50,0	91,5	92,4	92,4	93,0	91,7	93,0	91,0	91,7
45,0	60,0	91,7	93,0	93,0	93,6	91,7	93,6	91,0	91,7
55,0	75,0	92,4	93,0	93,0	94,1	92,1	93,6	91,5	93,0
75,0	100,0	93,0	93,6	93,2	94,5	93,0	94,1	92,0	93,0
90,0	125,0	93,0	94,5	93,2	94,5	93,0	94,1	92,5	93,6
110,0	150,0	93,0	94,5	93,5	95,0	94,1	95,0	92,5	93,6
130,0	175,0	93,5	94,7	94,1	95,0	94,1	95,0	-	-
150,0	200,0	94,1	95,0	94,5	95,0	94,1	95,0	-	-
185,0	250,0	94,1	95,4	94,5	95,0	-	-	-	-

Fonte: ABNT (1996).

2. OBJETIVOS

O desenvolvimento do presente trabalho objetivou realizar uma avaliação preliminar dos fatores de segurança aplicados ao dimensionamento de motobombas para irrigação.

Os objetivos específicos foram:

- (i) Determinar o índice de carregamento, a potência nominal e o rendimento de sistemas de bombeamento de água para irrigação com e sem os fatores de segurança propostos pela literatura.
- (ii) Determinar a diferença entre os gastos com energia elétrica (demanda e consumo) e água para sistemas de bombeamento para irrigação com e sem os fatores de segurança propostos pela literatura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. Foram utilizados normas regulamentadoras para motores (ABNT, 1996) e catálogos eletrônicos de motores e o programa para seleção de bombas agrícolas – Agribombas (SANTOS, 2000; SANTOS, 2001). O Agribombas é um gerenciador eletrônico para escolha da bomba mais eficiente e contém dados de cinco fabricantes de bombas (EH, Mark Peerless, KSB, Imbil e Schneider), com três rotações diferentes, podendo selecionar até 10 bombas distintas que melhor otimizem a escolha e as curvas características dos motores elétricos, para um dado projeto (KOHLBACH, 2000; WEG, 2000).

3.1. Análise técnica

Os fatores técnicos de dimensionamento da potência de bombas e motores para um sistema de bombeamento de água são dependentes da altura manométrica, da vazão e do rendimento da bomba e do motor.

As bombas usadas para irrigação são, em sua maioria, do tipo centrífuga de eixo horizontal. Nos projetos de irrigação, as bombas são instaladas, em geral, acima do nível do poço de sucção.

As metodologias para escolha das potências nominais foram as comercialmente disponíveis para estudo dos pontos críticos (mínima potência mecânica disponível).

- **Vazão necessária**

Na elaboração de um projeto em sua fase inicial, o projetista pode escolher um rotor da bomba acima do ideal ou um fator de segurança para ajustar algumas imperfeições no sistema, em razão das necessidades hídricas da planta, dentro da relação motor e bomba.

A vazão necessária de água pode ser expressa pela Equação 2.

$$Q = \frac{A \ L_i \ 10}{h} \quad (2)$$

em que

Q = vazão necessária, $m^3.h^{-1}$;

A = área a ser irrigada, ha;

L_i = lâmina de água para irrigação a ser aplicada, mm dia⁻¹;

h = número de horas de funcionamento diário.

- **Potência absorvida na bomba**

A potência requerida pela bomba é expressa pelas Equações 3a e 3b.

$$Pa_{kW} = \frac{Q \ H_{man}}{367 \ \eta_b} \quad (3a)$$

$$Pa_{cv} = \frac{Q \ H_{man}}{270 \ \eta_b} \quad (3b)$$

em que

Pa_{kW} = potência absorvida na bomba, kW;

Pa_{cv} = potência absorvida na bomba, cv;

Q = vazão bombeada, $m^3.h^{-1}$;

H_{man} = altura manométrica, mca; e

η_b = eficiência da bomba, em decimal.

- **Potência absorvida pelo motor**

Quando a transmissão de potência entre o motor e a bomba for por meio de um eixo único, a potência fornecida pelo motor será praticamente igual à demandada pela bomba.

A potência elétrica necessária ao sistema é expressa pelas Equações 4a e 4b.

$$P_{kW} = \frac{Q H_{man}}{367 \eta_b \eta_m} \quad (4a)$$

$$P_{cv} = \frac{Q H_{man}}{270 \eta_b \eta_m} \quad (4b)$$

em que

P_{kW} = potência elétrica necessária ao sistema, kW;

P_{cv} = potência elétrica necessária ao sistema, cv;

η_b = rendimento ou eficiência da bomba, em decimal; e

η_m = rendimento ou eficiência do motor, em decimal.

- **Rendimento de motores elétricos**

Os motores estudados foram escolhidos para funcionarem no limite do regime de trabalho da bomba, sem interferência em seu rendimento, e submetidos à carga de trabalho, determinando-se o índice de carregamento (I_c) da potência fornecida em relação à nominal. Com o I_c , determinou-se o rendimento por meio da curva característica do motor, como pode ser visto na Figura 4.

O rendimento do motor (η_m) é calculado pela Equação 5.

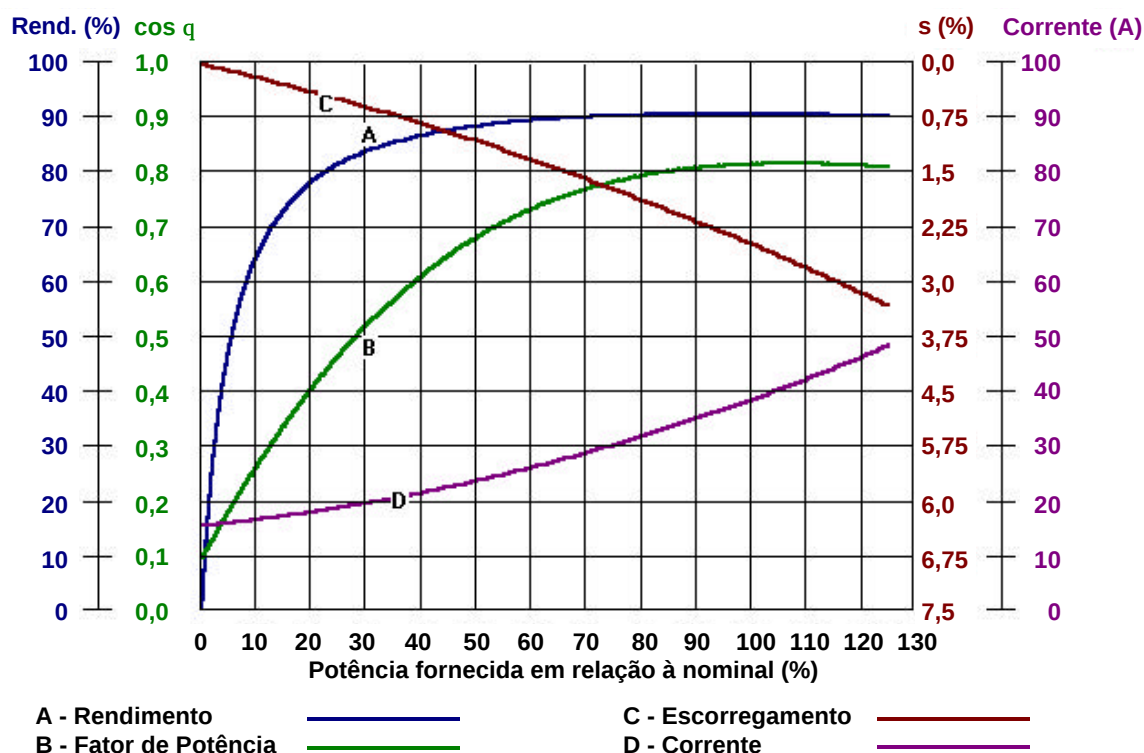
$$\eta_m = \frac{P_m}{P_e} 100 \quad (5)$$

em que

η_m = rendimento do motor;

P_m = potência mecânica fornecida, kW; e

P_e = potência consumida, kW.



Fonte: WEG (2002)

Figura 4 – Curvas características típicas de motor elétrico.

• Rendimento da bomba

Os rendimentos das bombas centrífugas foram determinados por meio das curvas características das bombas que apresentam as relações entre altura manométrica e vazão e potência mecânica exigida e vazão, para diferentes diâmetros, rotações e modelos.

Escolheu-se a bomba centrífuga utilizando o programa Agribombas. Esse programa seleciona os melhores modelos de bombas de acordo com as características do projeto, a vazão e a altura manométrica, em função do critério de máximo rendimento.

• Fator de segurança

A literatura técnica sobre dimensionamento de sistema de irrigação, nos cálculos dos motores, recomenda acréscimo na potência instalada em função da potência absorvida pela bomba, conforme mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores do fator de serviço e acréscimos na potência demandada no eixo de bombas hidráulicas em função da potência nominal e do número de pólos de motores elétricos

Potência Nominal do Motor		Fator de Serviço - FS*				Acréscimo na Potência Demandada **
kW	cv	Número de Pólos				
		2	4	6	8	
0,037	1/20	1,40	1,40	1,40	1,40	30
0,060	1/12	1,40	1,40	1,40	1,40	30
0,090	1/8	1,40	1,40	1,40	1,40	30
0,120	1/6	1,35	1,35	1,35	1,35	30
0,180	1/4	1,35	1,35	1,35	1,35	30
0,250	1/3	1,35	1,35	1,35	1,35	30
0,370	1/2	1,25	1,25	1,25	1,15	30
0,550	3/4	1,25	1,25	1,15	1,15	30
0,750	1	1,25	1,15	1,15	1,15	30
1,100	1,5	1,15	1,15	1,15	1,15	30
1,470	2	1,15	1,15	1,15	1,15	30
2,210	3	1,15	1,15	1,15	1,15	25
2,940	4	1,15	1,15	1,15	1,15	25
3,680	5	1,15	1,15	1,15	1,15	25
4,420	6	1,15	1,15	1,15	1,15	20
5,520	7,5	1,15	1,15	1,15	1,15	20
7,360	10	1,15	1,15	1,15	1,15	20
9,200	12,5	1,15	1,15	1,15	1,15	15
11,040	15	1,15	1,15	1,15	1,15	15
14,720	20	1,15	1,15	1,15	1,15	15
18,400	25 em diante	1,15	1,15	1,15	1,15	10

* ABNT 7094 (1996). ** Fator de segurança (BERNARDO, 1995).

Nota: O valor do FS de 1,15 aplica-se somente às categorias N e H, no caso de motores com rotor em gaiola, polifásicos (ABNT, 1996).

Uma das razões que levaram ao uso do fator de segurança foi a não-uniformidade do sistema elétrico, cujas variações das tensões podem ter comprometido o desempenho dos motores.

- **Uso do fator de serviço (FS)**

No Quadro 2, mostram-se o fator de serviço de motores elétricos e os acréscimos na potência recomendada pela literatura em função da potência nominal do motor.

No Quadro 2, observa-se que, para cada potência nominal dos motores, o fator de serviço (FS) têm uma variação a mais quando se utiliza número de pólos, para as potências entre 0,37 e 0,75 kW. Os valores dos acréscimos na potência demandada recomendados pela literatura independem do número de pólos usados nos motores, ou seja, não há divisão quanto à polaridade.

As normas disponíveis pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em destaque a NBR 7094, que define o FS do motor como fator multiplicador da potência nominal do motor, indicam a carga que pode ser acionada continuamente sob tensão e frequência nominais e com limite de elevação da temperatura do rolamento.

3.2. Análise econômica

A estrutura das informações foram baseadas em duas faixas de horas de funcionamento (1.000 e 4.000 h), uma lâmina de água para irrigação (5 mm.dia⁻¹), duas pressões manométricas (196 e 392 kPa) (20 e 40 mca) e 12 tipos de potência dos motores (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 5,0; 7,5; 10,0; 15,0; 20,0; 50,0; e 125,0 cv). Foi utilizada a tarifa verde no cálculo econômico para, assim, visualizar as diferenças e ajudar nas decisões de como utilizar melhor os recursos disponíveis, sem perder a qualidade dos resultados. Os motores empregados na simulação foram da linha alto rendimento, os quais possuem o certificado do Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica – PROCEL.

Os dimensionamentos da potência útil dos motores requer uma análise de uso constante ou variável. Essa análise pode compensar um dimensionamento melhor dos motores, tanto em sua potência quanto em seu

rendimento, refletindo no custo inicial de aquisição e no ganho de energia elétrica. A utilização do fator de serviço como acréscimo na potência útil pode representar uma economia favorável ao custo inicial quando comparadas com as usadas com fator de segurança.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise técnica

No Quadro 3, apresenta-se a potência de motores para acionamento de bomba e folga percentual, considerando somente o fator de serviço (método 1) e o dimensionamento mais o fator de serviço indicados pela literatura (método 2).

No Quadro 3, mostra-se a folga dos motores quando usados na potência demandada pela bomba. Observa-se, nesse quadro, que o fator de serviço (FS) pode chegar a valores de até 88%, que são considerados extremamente elevados para motores com potências menores, quando se utiliza o acréscimo sugerido pela literatura técnica de irrigação.

As potências demandadas pelas bombas apresentadas no Quadro 3 foram calculadas conforme as exigências do projeto simulado no uso de potências comerciais para estudo dos pontos críticos, utilizando-se pressões de 196 e 392 kPa (20 e 40 mca), número de horas de funcionamento de 1.000 e 4.000 horas anuais e uma lâmina de água para irrigação constante de 5 mm.dia⁻¹. Os valores da folga encontrados pelo método 1 foram obtidos utilizando os dados de FS fornecidos pelo Quadro 2 multiplicados pela potência demandada pela bomba, e os valores da folga encontrados pelo método 2 foram obtidos pela potência comercial acima do calculado no dimensionamento e multiplicados pelo FS correspondente à potência utilizada. Exemplo: motor de

Quadro 3 – Potência de motores para acionamento de bomba e folga percentual, considerando-se somente o fator de serviço (método 1) e o fator de serviço e o dimensionamento indicados pela literatura (método 2)

Potência Demandada pela Bomba kW (cv)	Potência Demandada do Motor para Acionamento da Bomba kW (cv)		Folga Disponível da Potência Nominal com FS %	
	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2
0,37 (0,50)	0,46 (0,63)	0,69 (0,94)	25	88
0,75* (1,00)	0,92 (1,25)	1,38 (1,88)	25	88
0,75**(1,00)	0,85 (1,15)	1,27 (1,73)	15	73
1,10 (1,50)	1,27 (1,73)	1,69 (2,30)	15	53
1,50 (2,00)	1,69 (2,30)	2,54 (3,45)	15	73
2,20 (3,00)	2,54 (3,45)	3,39 (4,60)	15	53
3,70 (5,00)	4,23 (5,75)	6,35 (8,63)	15	73
5,50 (7,50)	6,35 (8,63)	8,46 (11,50)	15	53
7,50 (10,00)	8,46 (11,50)	10,58 (14,38)	15	44
11,00 (15,00)	12,70 (17,25)	16,93 (23,00)	15	53
15,00 (20,00)	16,93 (23,00)	21,16 (28,75)	15	44
37,00 (50,00)	42,32 (57,50)	50,78 (69,00)	15	38
90,00 (125,00)	105,80 (143,75)	126,96 (172,50)	15	38
110,00 (150,00)	126,96 (172,50)	148,12 (201,25)	15	34
130,00 (175,00)	148,12 (201,25)	169,28 (230,00)	15	31
150,00 (200,00)	169,28 (230,00)	211,60 (287,50)	15	44

Obs.: * Potência demandada para dois pólos. ** Potência demandada para quatro pólos.

3,70 kW (5 cv) multiplicado pelo acréscimo indicado pela literatura de 25% terá um resultado de 4,63 kW (6,3 cv) de potência, mas não existe no mercado esse motor; então, compra-se o imediatamente superior a ele, que será o de 5,52 kW (7,5 cv), que, multiplicado pelo FS de 1,15 correspondente do motor, terá um resultado de 6,35 kW (8,63 cv), com folga de 73%.

Nos Quadros 4 e 5, apresentam-se uma comparação da potência nominal do motor, índice de carregamento, rendimento do motor, potência mecânica disponível e potência elétrica útil necessárias ao sistema, utilizando os resultados de duas diferentes pressões (20 e 40 mca), com fator de serviço (FS), em comparação com os dados fornecidos pela literatura técnica de irrigação.

A potência nominal dos motores pelo método 1 é a potência demandada pela bomba em um mesmo eixo e pelo método 2, a potência comercialmente disponível acima da potência da bomba utilizando o acréscimo da literatura técnica. O índice de carregamento calculado foi a relação entre a potência da

Quadro 4 – Características técnicas de bombas e de motores elétricos otimizados com e sem acréscimos na potência demandada pela bomba, em função da vazão, para pressão de 196 kPa (20 mca)

Vazão m³/h	Potência Demandada pela Bomba kW (cv)	Rendimento da Bomba %	Número de pólos	Potência Nominal do Motor		Índice de Carregamento		Rendimento do Motor		Potência Mecânica Disponível, Utilizando FS		Potência Elétrica Útil Necessária ao Sistema na Condição Nominal kW	
				kW (cv)		%		%		kW (cv)			
				Método 1*	Método 2**	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2
3,1	0,37 (0,5)	46,1	4	0,37 (0,5)	0,55 (0,75)	100,0	66,7	74,1	75,8	0,46 (0,63)	0,69 (0,94)	0,50	0,49
8,1	0,75 (1,0)	59,8	2	0,75 (1,0)	1,1 (1,5)	100,0	66,7	86,0	86,1	0,85 (1,25)	1,38 (1,88)	0,86	0,85
14,3	1,1 (1,5)	70,9	2	1,1 (1,5)	1,5 (2,0)	100,0	75,0	86,7	83,6	1,27 (1,73)	1,69 (2,30)	1,27	1,32
15,7	1,5 (2,0)	58,3	4	1,5 (2,0)	2,2 (3,0)	100,0	66,7	84,2	81,8	1,69 (2,30)	2,54 (3,45)	1,75	1,80
26,4	2,2 (3,0)	65,1	4	2,2 (3,0)	3,0 (4,0)	100,0	75,0	87,0	86,0	2,54 (3,45)	3,39 (4,60)	2,54	2,57
51,1	3,7 (5,0)	75,8	2	3,7 (5,0)	5,5 (7,5)	100,0	66,7	87,6	87,3	4,23 (5,75)	6,35 (8,63)	4,20	4,22
80,0	5,5 (7,5)	79,0	4	5,5 (7,5)	7,5 (10,0)	100,0	75,0	89,5	90,2	6,35 (8,63)	8,46 (11,50)	6,17	6,12
108,2	7,5 (10,0)	80,1	4	7,5 (10,0)	9,2 (12,5)	100,0	80,0	90,0	91,6	8,46 (11,50)	10,58 (14,38)	8,18	8,03
163,1	11,0 (15,0)	80,5	6	11,0 (15,0)	15,0 (20,0)	100,0	75,0	91,3	91,4	12,70 (17,25)	16,93 (23,00)	12,09	12,08
223,0	15,0 (20,0)	82,6	6	15,0 (20,0)	18,5 (25,0)	100,0	80,0	91,9	92,2	16,93 (23,00)	21,16 (28,75)	16,02	15,97
550,5	37,0 (50,0)	81,6	6	37,0 (50,0)	45,0 (60,0)	100,0	83,3	93,6	93,6	42,32 (57,50)	50,78 (69,00)	39,32	39,32
1301,2	90,0 (125,0)	77,1	4	90,0 (125,0)	110,0 (150,0)	100,0	83,3	94,4	94,9	105,80 (143,75)	126,96 (172,50)	97,46	96,94

* Método 1 – Dimensionamento da força motriz sem índices ou fatores de segurança que acrescentem a potência demandada pela bomba. ** Método 2 – Dimensionamento da força motriz com índices ou fatores de segurança que acrescentem a potência demandada pela bomba (BERNARDO, 1995).

Quadro 5 – Características técnicas de bombas e de motores elétricos otimizados com e sem acréscimos na potência demandada pela bomba, em função da vazão, para pressão de 392 kPa (40 mca)

Vazão m³/h	Potência Demandada pela Bomba kW (cv)	Rendimento da bomba %	Número de Pólos	Potência Nominal do Motor		Índice de Carregamento		Rendimento do Motor		Potência Mecânica Disponível, Incluindo FS kW (cv)		Potência Elétrica Útil Necessária ao Sistema na Condição Nominal kW	
				kW (cv)		%		%					
				Método 1*	Método 2**	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2
3,1	0,75 (1,0)	46,1	4	0,75 (1,0)	1,1 (1,5)	100,0	66,7	82,7	79,1	0,85 (1,15)	1,27 (1,73)	0,89	0,93
5,1	1,1 (1,5)	50,0	4	1,1 (1,5)	1,5 (2,0)	100,0	75,0	83,0	83,8	1,27 (1,73)	1,69 (2,30)	1,33	1,32
7,2	1,5 (2,0)	53,7	4	1,5 (2,0)	2,2 (3,0)	100,0	66,7	84,2	81,8	1,69 (2,30)	2,54 (3,45)	1,75	1,80
12,7	2,2 (3,0)	62,6	4	2,2 (3,0)	3,0 (4,0)	100,0	75,0	86,7	86,0	2,54 (3,45)	3,39 (4,60)	2,55	2,57
22,8	3,7 (5,0)	67,7	2	3,7 (5,0)	5,5 (7,5)	100,0	66,7	87,6	87,3	4,23 (5,75)	6,35 (8,63)	4,20	4,22
36,3	5,5 (7,5)	71,7	4	5,5 (7,5)	7,5 (10,0)	100,0	75,0	89,5	90,2	6,35 (8,63)	8,46 (11,50)	6,17	6,12
51,9	7,5 (10,0)	76,9	4	7,5 (10,0)	9,2 (12,5)	100,0	80,0	90,0	91,6	8,46 (11,50)	10,58 (14,38)	8,18	8,03
80,2	11,0 (15,0)	79,2	2	11,0 (15,0)	15,0 (20,0)	100,0	75,0	90,3	89,8	12,70 (17,25)	16,93 (23,00)	12,23	12,29
107,9	15,0 (20,0)	79,9	2	15,0 (20,0)	18,5 (25,0)	100,0	80,0	90,4	90,8	16,93 (23,00)	21,16 (28,75)	16,28	16,21
266,9	37,0 (50,0)	79,1	4	37,0 (50,0)	45,0 (60,0)	100,0	83,3	93,6	93,4	42,32 (57,50)	50,78 (69,00)	39,32	39,40
704,7	90,0 (125,0)	83,5	4	90,0 (125,0)	110,0 (150,0)	100,0	83,3	94,4	94,9	105,80 (143,75)	126,96 (172,50)	97,46	96,94

* Método 1 – Dimensionamento da força motriz sem índices ou fatores de segurança que acrescentem a potência demandada pela bomba. ** Método 2 – Dimensionamento da força motriz com índices ou fatores de segurança que acrescentem a potência demandada pela bomba (BERNARDO, 1995).

bomba e a potência nominal do motor, em percentagem, que, pelo método 1, estava em 100% e, pelo método 2, o carregamento era inferior. Isso pode ser analisado como motor com folga, podendo ter um gasto maior de energia elétrica. Já o rendimento foi calculado pela curva característica do motor, usando como dado de entrada o índice de carregamento. A potência mecânica é a potência de saída, a que produz trabalho.

Analisando os Quadros 4 e 5, observa-se que:

- (i) As escolhas das vazões foram feitas de modo que, nas pressões (alturas manométricas) estudadas, os índices de carregamento dos motores fossem de 100%, pelo método de dimensionamento da força motriz, sem índices ou fatores de segurança que acrescentem a potência demandada pela bomba (método 1). Isso foi feito, pois os pontos críticos para avaliação da influência da adoção de fatores de segurança e, ou, de acréscimo ocorrem quando os índices de carregamento são máximos. De outra forma, os motores relacionados (com índices de carregamento menores do que 100%) já teriam (mesmo sem fatores de segurança e, ou, consideração de fatores de serviço) alguma potência disponível.
- (ii) As potências demandadas pelas bombas (potências mecânicas no eixo) foram aquelas entre as potências comercialmente disponíveis de motores elétricos.
- (iii) O rendimento da bomba foi obtido pelo uso do programa computacional de seleção de bombas centrífugas Agribombas (SANTOS, 2000; SANTOS, 2001). Observou-se que o rendimento das bombas teve tendência de aumento à medida que se elevou a vazão de projeto. Os rendimentos das bombas variaram de 46,1% a 83,5%. As características da bomba para cada valor de altura manométrica e vazão foram as mesmas do dimensionamento de motores sem e com o uso de fatores de segurança ou acréscimo na potência demandada (método 1 e método 2, respectivamente).
- (iv) Foi considerado que o número de pólos dos motores manteve-se o mesmo nos dois métodos de dimensionamento.
- (v) A comparação entre as potências nominais dos motores dos métodos 1 e 2 indicou, claramente, que o método 2 exige motores de potências

superiores àquelas exigidas pelo método 1. Isso implica necessidade de investimento maior quando se utiliza o método 2. Esse investimento maior foi proporcional também ao aumento dos custos de comando, proteção, sinalização e condutores para instalação de motores de maior potência.

- (vi) Observou-se que o índice de carregamento dos motores pelo método 2 variou de 66,7% a 83,3%.
- (vii) Quanto à comparação do rendimento dos motores pelo método 1 com o método 2, não se observou tendência alguma. Na comparação dos 23 casos estudados, em nove das vezes o método 1 forneceu rendimentos superiores, em 13 das vezes proporcionou rendimentos inferiores àqueles fornecidos pelo método 2 e em uma vez não houve diferença percentual significativa de rendimento dos motores quando dimensionados por qualquer dos dois métodos.
- (viii) Finalmente, as quatro últimas colunas dos Quadros 4 e 5 apresentam as potências mecânicas disponíveis, incluindo o fator de serviço (FS) e a potência elétrica útil necessária ao sistema. O conhecimento da potência elétrica útil demandada foi importante no cálculo da demanda, que é utilizada em algumas categorias de tarifas, como o sistema horo-sazonal, tarifa azul, ou tarifas para irrigação noturna.

4.2. Análise econômica

Foram analisados os dados de entrada da análise econômica, como: preço dos motores, consumo e demanda de energia elétrica. O preço dos motores foram analisados pela diferença entre motores a serem usados nas mesmas situações de projeto.

No Quadro 6, mostra-se a comparação dos gastos com energia elétrica nos dois métodos propostos, com o uso de motores a uma pressão de 392 kPa (40 mca) e 4.000 horas de funcionamento anual, com os dados de energia e demanda, com os gastos totais com energia elétrica e o custo de 1.000 m³ de água.

No Quadro 6, pode-se observar que nem sempre o aumento na potência do motor, entre os dois métodos, faz a diferença no custo final da energia elétrica. Nessa simulação, o aumento de potência entre os motores

Quadro 6 – Comparação dos gastos com energia elétrica, nos dois métodos propostos, com o uso de motores a uma pressão de 392 kPa (40 mca) e 4.000 horas de funcionamento anual

Potência Nominal dos Motores kW		Energia kWh.ano ⁻¹		Demanda kW		Gasto com Energia Elétrica Total R\$.ano ⁻¹		Custo da Água R\$/1.000 m ³	
Método 1	Método 2	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2
Pressão de 392 kPa (40 mca)									
0,75	1,10	3.558	3.722	10,67	11,17	193,37	202,28	15,54	16,26
1,10	1,50	5.318	5.270	15,95	15,81	289,03	286,41	14,28	14,15
1,50	2,20	6.976	7.198	20,93	21,59	379,15	391,21	13,11	13,52
2,20	3,00	10.182	10.270	30,54	30,81	553,37	558,16	10,92	11,01
3,70	5,50	16.797	16.861	50,39	50,58	912,93	916,42	9,99	10,03
5,50	7,50	24.658	24.479	73,97	73,44	1.340,17	1.330,43	9,23	9,17
7,50	9,20	32.725	32.140	98,18	96,42	1.778,62	1.746,79	8,56	8,41
11,00	15,00	48.910	49.176	146,73	147,53	2.658,25	2.672,71	8,29	8,33
15,00	18,50	65.130	64.846	195,39	194,54	3.539,80	3.524,37	8,20	8,17
37,00	45,00	157.256	157.602	471,77	472,81	8.546,87	8.565,65	8,01	8,02
90,00	110,00	389.907	387.777	1.169,72	1.163,33	21.191,46	21.075,66	7,52	7,48

Nota: Os custos de energia elétrica foram obtidos pela energia e demanda com os valores de R\$0,026 e R\$9,45, respectivamente.

apresentados para mesma função, de 22% a 46%, não correspondeu às expectativas com a mesma percentagem no gasto total com energia elétrica. Isso pode ser explicado, primeiro, pela escolha dos motores para trabalharem no limite e, segundo, pelas variáveis correspondentemente inversas, em que um motor de maior potência transmite proporcionalidade no índice de carregamento menor no mesmo motor, e a comparação com outro motor é inversa, no cálculo final do gasto de energia elétrica.

No Quadro 7, mostra-se a variação dos preços dos motores de 2 e de 4 pólos entre uma potência e a outra.

Analisando o Quadro 7, verificou-se que a diferença nos preços dos motores, para o primeiro ascendente, apresenta um ganho entre 1,1% e 72,9%, que pode representar uma decisão na escolha do tipo e potência na aquisição de motores novos.

Quadro 7 – Variação dos preços entre motores de 2 e de 4 pólos

Potência Nominal do Motor (cv)	2 Pólos		4 Pólos	
	Preço do Motor (R\$)	Variação (%)	Preço do Motor (R\$)	Variação (%)
1,0	183,36	13,0	197,85	13,2
1,5	207,15	11,4	223,87	22,3
2,0	230,84	18,8	273,75	21,4
3,0	274,34	34,7	332,35	30,4
4,0	369,44	17,3	433,44	7,2
5,0	433,24	20,2	464,78	19,5
6,0	520,55	12,2	555,32	8,4
7,5	584,20	23,4	601,92	26,4
10,0	720,64	20,7	760,81	18,2
12,5	869,75	9,5	899,38	12,4
15,0	952,22	18,8	1.010,99	19,4
20,0	1.131,57	40,2	1.206,98	34,8
25,0	1.586,35	6,7	1.627,49	25,8
30,0	1.692,81	50,4	2.047,60	27,4
40,0	2.546,66	8,2	2.607,64	10,0
50,0	2.754,26	*72,9	2.867,93	62,7
60,0	4.762,56	7,9	4.665,24	13,7
75,0	5.136,8	31,0	5.304,51	18,5
100,0	6.728,35	41,4	6.284,28	42,7
125,0	9.514,82	13,1	8.968,73	18,5
150,0	10.761,69	24,6	10.627,42	21,6
175,0	13.407,21	2,1	12.920,23	*1,1
200,0	13.692,90	53,4	12.784,25	25,6
250,0	21.005,02	-	16.057,62	-

Fonte: WEG (2000).

5. CONCLUSÃO

- (i) Este estudo evidenciou a necessidade de estudos mais aprofundados, técnica e economicamente, sobre a necessidade de fator de segurança ou de acréscimo no dimensionamento da potência de motores para acionamento de bombas hidráulicas. Tais estudos devem ser seguidos de validação, para garantir seus resultados.
- (ii) A obrigatoriedade de que os motores elétricos tenham fatores de serviço de no mínimo 1,15 (Quadro 4.2) poderá atender, na maioria das vezes, às condições de trabalho não previstas (curvas características de bombas e, ou, de motores que não correspondem à realidade, à oscilação e ao desequilíbrio dos sinais de tensão), que requerem fatores de segurança e, ou, de acréscimo na potência demandada.
- (iii) Um caso específico é quando se faz o reparo do motor (ou motor reenrolado), o que apresenta um custo inicial bem menor em relação à aquisição de um novo, porém pode proporcionar menor rendimento. Em geral, suas características elétricas, magnéticas e mecânicas de projeto são, muitas vezes, alteradas, aumentando suas perdas.
- (iv) Este trabalho indicou também que a utilização de fatores de segurança e, ou, de acréscimo no dimensionamento de motores para acionamento de bombas hidráulicas implicou, em um número significativo de vezes, em rendimento inferior do que se os mesmos sistemas fossem calculados sem esses fatores.

- (v) Houve a necessidade de que não somente motores elétricos, mas também bombas hidráulicas, tivessem certificado de suas curvas características, emitido por agente credenciado pelo órgão competente. Houve, também, a necessidade de que se trabalhe com o objetivo de assegurar que os sinais elétricos sejam de melhor qualidade, incluindo nível e oscilação de tensão e de frequência.
- (vi) Quanto mais se consegue descrever o equipamento, seja o motor, seja a bomba ou o sinal elétrico, menor a necessidade de superdimensioná-lo. Os motores estudados apresentaram uma diferença de 15% a 88% da potência demandada do conjunto, significando que o motor estava com folga.
- (vii) Equipamentos superdimensionados acarretam maiores investimentos iniciais.
- (viii) É importante observar o dimensionamento adequado do sistema elétrico para o conjunto motobomba. A amperagem, os fusíveis, o relé de tempo e as fiações em geral que fazem parte do sistema têm que suportar a potência máxima do motor, que é a potência nominal mais o fator de serviço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7094**, máquinas elétricas, motores de indução, especificação. Projeto original NBR 7094, 1994. Rio de Janeiro, RJ, novembro, 1996.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1995. 657 p.
- ELETROBRÁS – **Guia operacional de motores elétricos**. PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 1998. v.1, 161 p.
- KOHLBACH **Catálogo eletrônico 2000**, versão 1.0. Jaraguá do Sul, SC. Disponível em: <www.kohlbach.com.br>.
- SANTOS, W. L. **Desenvolvimento de um metodologia para representação analítica de curvas características de bombas hidráulicas, visando à sua seleção, seu dimensionamento e a simulação de sua operação**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2.001. 698. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SANTOS, W. L. **Agribombas** – Programa racional para seleção de bombas agrícolas, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2000. Disponível, via URL, em: <www.ufv.br>.
- UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora. **Curso diagnóstico energético**. Faculdade de Engenharia CRITT. Juiz de Fora, MG: Eletrobrás, PROCEL – Programa de combate ao desperdício de energia elétrica, 2000.
- WEG **Catálogo eletrônico 2000**. Jaraguá do Sul. Disponível em: <www.weg.com.br>. Acesso em: 01 ago. 2002.

**RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA EM UMA ESTAÇÃO DE
BOMBEAMENTO DE ÁGUA NO PERÍMETRO
IRRIGADO DE MIRORÓS, BAHIA**

RESUMO

Dentre as formas de diminuir os custos de energia elétrica dos irrigantes e também seus custos de produção, listam-se: (i) a adequação do bombeamento de água, (ii) a adequação da força motriz e (iii) o gerenciamento do uso da água. O experimento foi realizado no Perímetro Irrigado de Mirorós, localizado no município de Ibipeba, Bahia. O estudo foi conduzido na estação de pressurização 1, sendo analisados dois de seus quatro conjuntos de motobombas. O processo de otimização do uso da energia adotado envolveu a adequação da bomba e do motor elétrico e a avaliação do conjunto motobomba. O potencial de economia de energia global com a adequação do conjunto motobomba 1 foi de cerca de 8,75% e, do conjunto 2, de 31,6%. Observou-se também que, quanto maior o índice de carregamento, menor o valor cobrado pela água (em R\$/1.000 m³), e para tal é necessário gerenciar o número de lotes que usam a irrigação simultaneamente.

PALAVRAS-CHAVE: racionalização do uso de energia, irrigação, conjunto-motobomba.

1. INTRODUÇÃO

A crescente inserção do Brasil no cenário mundial tem pressionado mudanças no sentido de que os seus produtos sejam competitivos, entrando aqui sua oferta de energia como um dos fatores mais importantes no contexto atual. As dificuldades energéticas no ano 2001, especialmente o racionamento de energia elétrica, representaram um alerta quanto ao futuro da nação, surgindo questionamentos como: até onde é compensador só investir em usinas de geração de energia, consumindo milhares de hectares de terras agricultáveis, toneladas de carvão ou óleo, impactando e poluindo o ambiente? Tais questões são facilmente percebíveis, mas de difícil solução, cuja resposta poderá ser encontrada na racionalização do uso da energia, resultando, inclusive, na ampliação da produção e no aumento dos benefícios sociais e da competitividade, além da minimização dos custos.

Os benefícios sociais provenientes da agricultura irrigada são imensos, e entre eles está a recolocação do homem no campo, para cuja fixação é necessário que as tarifas de energia sejam adequadas e, simultaneamente, haja racionalização do uso da energia elétrica. Essa racionalização aumenta a rentabilidade da atividade rural, contribuindo, portanto, para melhoria da qualidade de vida no campo.

Comparando alguns sistemas de irrigação de lavouras que utilizam a energia elétrica para distribuição ou captação dos recursos hídricos, concluiu-

se que o custo da energia elétrica pode chegar a até 30% do preço da produção (BERNARDO, 1995).

Atualmente, quase a metade da população mundial depende de alimentos produzidos mediante o uso da irrigação. O contínuo crescimento demográfico mundial exige uma agricultura competitiva e tecnificada e que possibilite a produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade, sendo a irrigação uma excelente estratégia para o alcance desses objetivos. No Quadro 1, apresenta-se o panorama atual da área irrigada em diversos países, bem como a relação entre as áreas irrigada e cultivada nessas nações (CHRISTOFIDIS, 2002). Observa-se que, dos países citados, o Brasil apresenta a menor relação entre área irrigada e área cultivada.

Quadro 1 – Panorama da área irrigada em alguns países e percentual dessa área irrigada sobre o total de área cultivada

País	Área Irrigada (milhões de ha)	% da Área Irrigada/cultivada*
Índia	59,0	35
China	53,7	32
EUA	22,4	12
Paquistão	17,9	86
Irã	7,5	50
México	6,5	26
Indonésia	4,8	22
Uzbequistão	4,8	-
Tailândia	4,7	24
Rússia	4,6	-
Turquia	4,5	16
Bangladesh	4,0	-
Espanha	3,6	17
Iraque	3,5	-
Egito	3,3	100
BRASIL	3,1	5
Total Mundial	275,0	18

Nota: * Dados estimados.

Fonte: Christofidis (2002).

No Brasil, assim como em outros países, a irrigação constitui componente importante no setor produtivo agropecuário. A superfície produtiva

agrícola sob sequeiro no mundo, em torno de 1.225 milhões de hectares, é responsável por 58% da colheita total, enquanto a superfície agrícola irrigada, embora correspondendo a apenas 18% da área produtiva total, contribui com cerca de 42% do total colhido (CHRISTOFIDIS, 2002). Ressalta-se que, em 24 anos, a agricultura irrigada mundial aumentou de 190 milhões para 275 milhões de hectares, ou seja, 45%; isso faz com que mais empresas invistam em tecnologia de irrigação, aprimorando o setor com mais investimentos na eficiência de seus equipamentos.

O uso da água na agricultura representa, em nível global mundial, cerca de 70% de toda a água derivada de rios, lagos e mananciais subterrâneos, enquanto a indústria utiliza 23% e o abastecimento humano consome 7%. Apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente e produtiva de obter alimentos. Estima-se que, no futuro próximo, metade a dois terços da produção de alimentos serão provenientes da agricultura irrigada (SANTOS, 1998).

Irrigar uma lavoura é prática que se confunde com a história do desenvolvimento e prosperidade econômica de um povo. A irrigação proporciona riqueza, pois garante aumento da produtividade e agrega valor aos produtos, além de contribuir para a resolução do problema da seca, permitindo cultivos durante o ano todo.

Um fato importante a ser registrado foi a mudança no perfil de expansão da área irrigada, a partir dos anos 80. As dificuldades administrativas e os elevados custos de implantação de perímetros irrigados, sob a coordenação governamental, favoreceram a realização de projetos pela iniciativa privada. Essas mudanças implicam em maior abrangência territorial da área irrigada, com prioridades naturais nas regiões de maior potencial agrícola.

Nas estações de bombeamento de água em um perímetro irrigado estão associados diversos fatores, que contribuem para a melhoria na integração do uso dos recursos físicos e a racionalização do uso de energia, ou seja: (i) manutenção centralizada, (ii) utilização de bombas e motores de maior potência e de elevada eficiência energética e (iii) racionalização de investimentos em obras civis.

Com o desenvolvimento de pesquisas para análise de quanto cada método de irrigação consome de água, chegou-se a um resultado utilizado para

o pedido e emissão da outorga. No Quadro 2, apresenta-se a classificação do uso da água para irrigação.

Quadro 2 – Vazão contínua por método de irrigação

Método de Irrigação	Vazão Contínua (L/s/ha)
Inundação	2,0 a 2,5
Sulcos	0,8 a 2,0
Aspersão	0,6 a 1,0
Localizada	0,3 a 0,7

Fonte: Pozzebon e Silva (2002).

Se um sistema de irrigação não for bem-operado, ocorrerá desperdício ou descontrole durante a irrigação, podendo sobrecarregar o conjunto motobomba, cuja finalidade é manter a vazão e a pressão da água, conforme planejado. Em um perímetro público irrigado, é crescente o anseio dos irrigantes por uma conduta metodológica quanto ao uso da água e suas implicações.

A irrigação é fator de importância não apenas social e econômica, mas também estratégica para a nação. O uso racional de energia na irrigação permite minimizar impactos ambientais e aumentar a atratividade da atividade agrícola. A produção de alimentos é importante econômica, social e estrategicamente para o País.

2. OBJETIVOS

Em geral, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de encontrar meios para racionalizar o uso da energia elétrica e otimizar economicamente uma estação de bombeamento de água do Perímetro Irrigado de Mirorós, no Estado da Bahia. Especificamente, os objetivos foram:

- (i) Adequar o dimensionamento hidráulico às necessidades do perímetro irrigado.
- (ii) Adequar o dimensionamento elétrico às necessidades do perímetro irrigado.
- (iii) Propor medidas de gerenciamento do uso do sistema de bombeamento de água, visando à racionalização do emprego das energias elétrica e hidráulica para maximizar a economia de energia.
- (iv) Adequar a tarifa de energia elétrica

3. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de dados foi realizada no Perímetro Irrigado de Mirorós, administrado pelo Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós – DIPIM, em convênio com a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF). Esse perímetro irrigado localiza-se no município de Ibipeba, Bahia. A análise dos dados foi feita no Laboratório de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

O referido perímetro irrigado possui uma superfície de 2.166 ha irrigáveis por aspersão convencional e microaspersão. É abastecido por um canal aberto, sendo parte da água distribuída entre empresários agrícolas e parte captada por cinco estações de bombeamento, enviadas a mais de 200 pequenos produtores com áreas de, aproximadamente, 5 ha por lote. A área de estudo foi a Estação de Bombeamento EP1 (EP1 é o mesmo que Estação de Pressurização 1), que dentre as cinco estações era a que apresentava uma das maiores alturas manométricas e de maior custo específico com energia elétrica, em R\$.m⁻³.

3.1. Metodologia para adequação de bombas centrífugas

- **Análise da adequação de bombas centrífugas atual**

No Quadro 3, apresentam-se as características mecânicas e hidráulicas das bombas utilizadas no perímetro de irrigação da EP1.

Quadro 3 – Características das bombas da Estação de Bombeamento EP1

Bomba	Fabricante - KSB Modelo	Vazão (m ³ .h ⁻¹)	Altura Manométrica (kPa)	Número de Estágios	Rotor (mm)	Rotação (rpm)
1*	ETA – 150-50	411	980	1	480	1750
1**	ETA – 150-50	500	980	1	480	1750
2	ETA – 150-50	300	980	1	462	1750
3	ETA – 150-50	300	980	1	462	1750
4	ETA – 150-50	300	980	1	462	1750

Nota: * Características de projeto. ** Características praticadas.

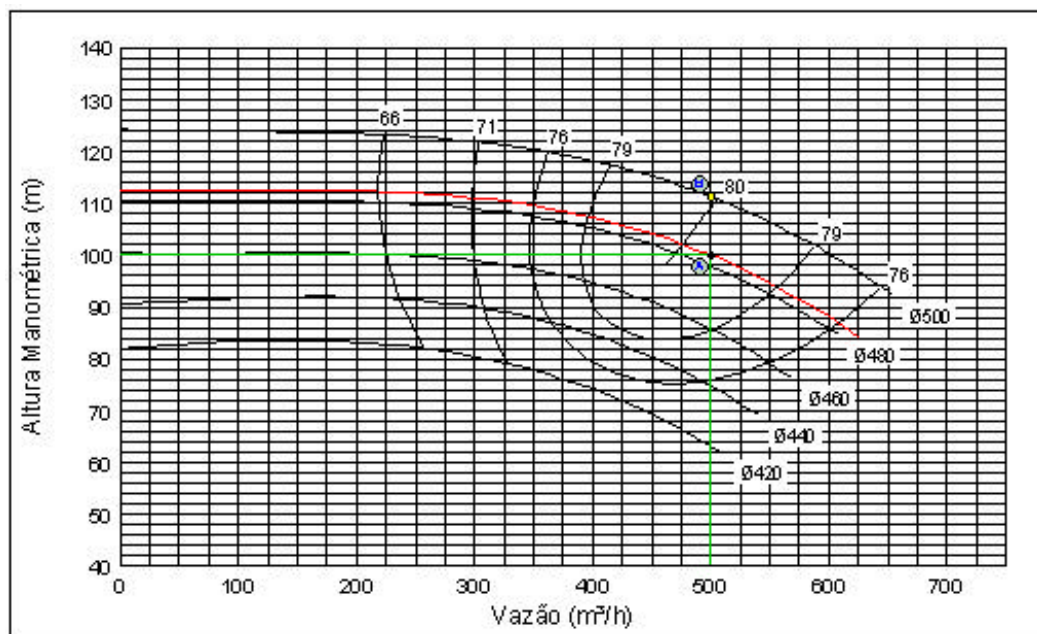
Fonte: KSB (s.d.).

No Quadro 3 são apresentadas as características das quatro bombas. De posse das informações de vazão e pressão (altura manométrica) requeridas, foi formado um banco de dados para determinação das características das bombas que melhor satisfizessem as exigências de projeto e dos parâmetros econômicos e de manejo do sistema.

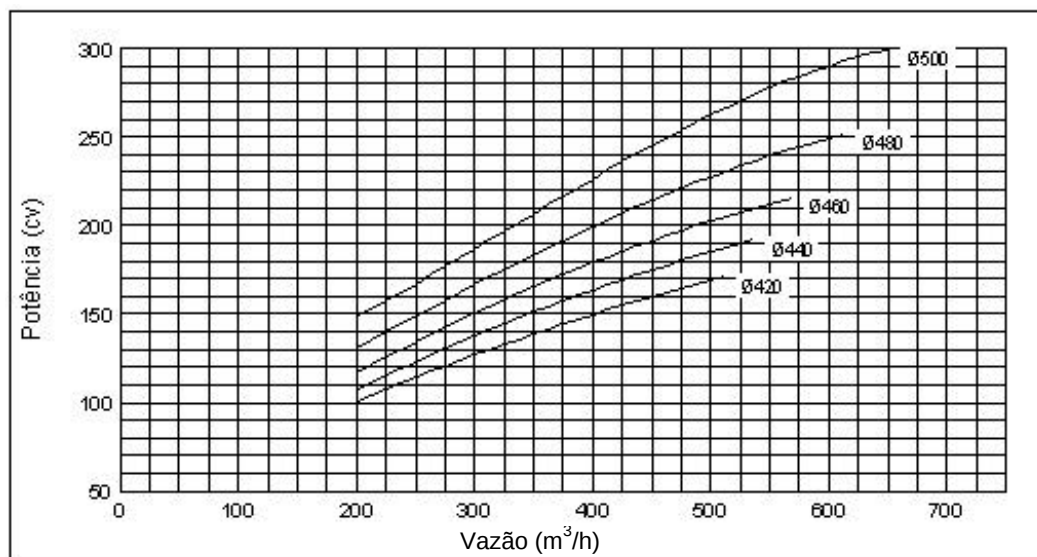
O dimensionamento do conjunto motobomba foi feito utilizando a análise das características de bombas e cálculos hidráulicos, conforme mostrado na Figura 1.

Na Figura 1 (a), mostra-se, para diversos diâmetros de rotor, o rendimento hidráulico em função da altura manométrica, que é a pressão desejada, e da vazão, enquanto na Figura 1 (b) se apresenta a potência requerida no eixo, em função do diâmetro do rotor e da vazão da bomba.

Na Figura 1 (a), observa-se que a escolha da bomba, do diâmetro do rotor, do modelo e do fabricante determina as características hidráulicas do projeto (vazão e altura manométricas totais) e o rendimento da bomba.



(a)



(b)

Fonte: AGRIBOMBAS (2000)

Figura 1 – Curvas características típicas da bomba hidráulica.

- **Proposta para adequação de bombas centrífugas**

De acordo com SANTOS (2001), na adequação de bombas centrífugas é importante que se faça a avaliação de sua vazão e pressão. A escolha de cada uma das bombas centrífugas foi feita utilizando o programa computacional Agribombas. Esse programa contém dados de cinco fabricantes de bombas (KSB, Shneider, Mark Peerless, Imbil e EH) para diferentes rotações, podendo-se selecionar até 10 bombas distintas, que melhor otimizem a seleção (SANTOS, 2000; CAMPANA, 2000). Esse programa computacional busca, dentre todas as bombas de seu banco de dados, aquelas que melhor otimizem tecnicamente a situação em questão.

De posse da nova curva característica da bomba otimizada, esta foi comparada com a bomba que estava em funcionamento, e, em seguida, fez-se a análise econômica de vida útil para o investimento.

As alternativas para adequação das bombas centrífugas investigadas foram:

- (i) Bomba em uso *versus* bomba adequada à condição de carga.
- (ii) Bomba em uso *versus* bomba adequada à condição de carga e otimizada.

3.2. Metodologia para adequação da força motriz

- **Análise do dimensionamento elétrico atual**

Analysaram-se os quatro motores da Estação de Bombeamento EP1, e suas características elétricas foram estimadas, medindo-se a corrente elétrica em plena carga. Os motores elétricos estudados foram: (i) um de 220,8 kW (300 cv) e (ii) três de 184 kW (250 cv).

O sistema de bombeamento EP1 era composto de quatro conjuntos de motobombas ligadas em paralelo, ficando o quarto conjunto na reserva, os quais foram acionados, progressivamente, em função do número de irrigantes que estavam demandando água ao mesmo tempo. O primeiro conjunto motobomba foi acionado automaticamente por um controlador lógico programável – CLP. O pressostato, acoplado à parede interna da tubulação de recalque, envia informações quanto à pressão da rede de distribuição. Essas informações controlam um variador hidrocínético para manter a pressão no eixo da bomba, o qual permite que o primeiro conjunto motobomba atenda 1 a 20

irrigantes simultaneamente. Caso o número de irrigantes aumente, o sistema aciona a segunda bomba, que atende a mais 13 irrigantes; por último, o terceiro conjunto, que atende aos 14 lotes restantes, em regime de utilização alternada dos conjuntos motobombas.

No Quadro 4, apresentam-se os dados técnicos gerais da Estação de Bombeamento EP1.

Quadro 4 – Dados técnicos gerais da Estação de Bombeamento EP1

Área Irrigável	Vazão	Pressão (altura manométrica)	Potência Mecânica Requerida	Potência Elétrica Útil	Potência Demandada	Potência Instalada
Ha	m ³ .h ⁻¹	kPa (mca)	kW	kW	KVA	kVA
255,3	1.265	980 (100)	772,8	966,0	1.207,5	1.500

De acordo com o Quadro 4, a área irrigável do perímetro da EP1 foi de 255,3 ha e a vazão de projeto, de 1.265 m³.h⁻¹, projetando uma dotação de irrigação (vazão contínua) de 1,37 L.s⁻¹.ha⁻¹. Para uma pressão manométrica de 980 kPa (100 mca), a potência mecânica requerida pelos motores elétricos foi de 772,8 kW (1.050 cv), a qual corresponde a cerca de 3,03 kW.ha⁻¹ (ou 4,1 cv ha⁻¹).

Observando esse quadro, consideraram-se, para efeito de cálculo de dimensionamento da potência instalada, um rendimento de 80% para os motores e um fator de potência de 0,80. Com a potência mecânica para os motores de 772,8 kW e para um rendimento de 80%, acha-se a potência elétrica útil de 966,0 kW, com a qual, mais o fator de potência de 0,80, chega-se a uma potência demandada de 1.207,5 kVA. A folga entre a potência demandada e a instalada era de 19,5%.

A potência instalada total da EP1 do projeto foi de 1.500 kVA, com dois transformadores de 750 kVA.

No Quadro 5, apresentam-se as características dos motores da Estação de Bombeamento EP1.

Quadro 5 – Características dos motores da Estação de Bombeamento EP1

Item	Estação de Bombeamento EP1			
	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4
Fabricante	WEG	WEG	WEG	WEG
Modelo	HFG 315 A	315 S/M	315 S/M	315 S/M
Número de fases	3	3	3	3
Número de pólos	4	4	4	4
Potência (kW)	220,8	184	184	184
Tensão (V)	380	380	380	380
Horas de funcionamento (h ano ⁻¹)*	3.540	1.100	900	800

Obs.: (*) Funcionamento praticado.

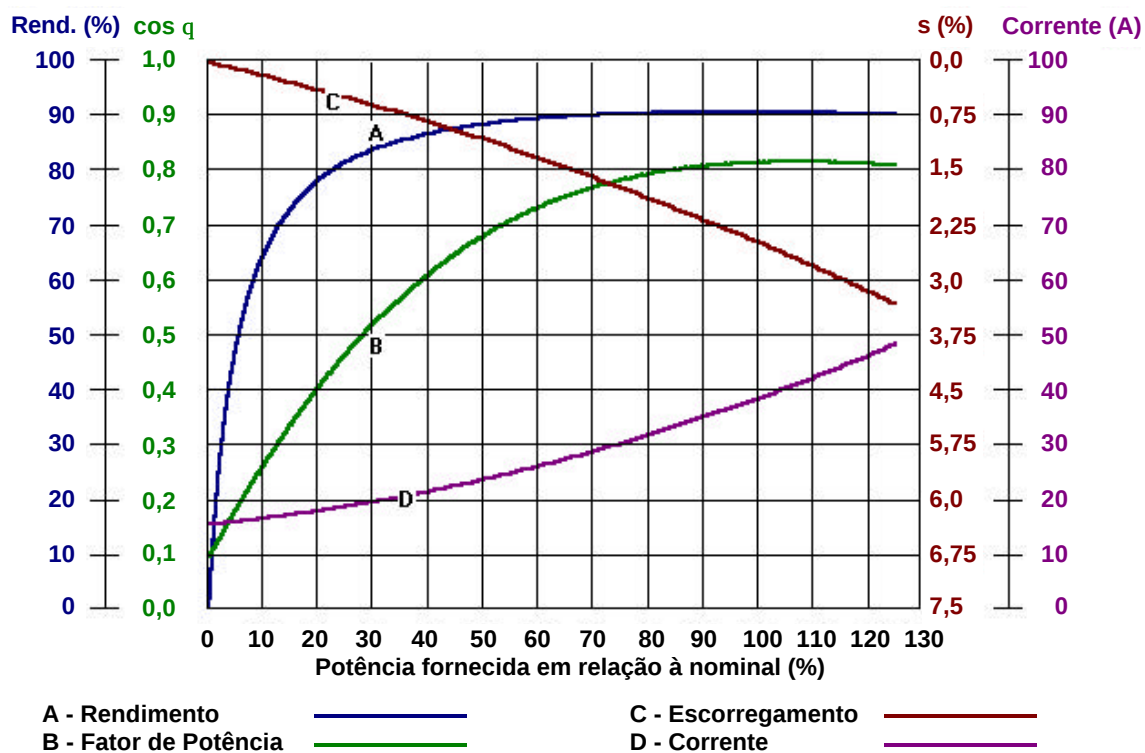
No Quadro 5, apresentam-se os tipos de motores e as características de cada um. O motor 1 funcionava com uma potência superior aos outros, como também o seu tempo de funcionamento era maior, motivo pelo qual era o único que tinha acoplado ao seu eixo um variador hidrocínético, que, além de controlar todo o sistema de bombeamento dos outros motores, mantinha a pressão e a vazão suficientes para o bom funcionamento pressurizado nos registros de entradas dos lotes do perímetro. Os motores 1, 2 e 3 eram comandados por um sistema computadorizado para funcionarem de maneira alternada, para evitar um desgaste prematuro.

● Proposta para dimensionamento elétrico

Para adequação da força motriz, é importante que se faça a avaliação do índice de carregamento e do rendimento do motor na condição de carga atual (TEIXEIRA et al., 2001; TEIXEIRA, 2002). A avaliação desse índice foi realizada por meio de estimativa da carga mecânica, enquanto a determinação do rendimento, por meio de medição da corrente elétrica, por ser a mais simples (SÁ et al., 1990). Para medição da corrente elétrica dos motores, utilizou-se um amperímetro-licate com capacidade mínima para 500 A.

Em todos os equipamentos estudados, a corrente elétrica medida foi aquela referente ao regime normal de trabalho da Estação de Bombeamento EP1. De posse das correntes elétricas do motor trabalhando a plena carga e de seus dados de placa, determinaram-se o índice de carregamento (I_c) e a potência fornecida em relação à nominal, por meio da

curva característica do motor. Com o I_c , determinou-se o rendimento desse motor por meio da curva característica (Figura 2).



Fonte: WEG (2002)

Figura 2 – Curvas características típicas de motor elétrico.

As seguintes opções para adequação do uso da força motriz foram estudadas: (i) motor convencional (CO) em uso *versus* motor novo de mesma potência de alto rendimento (AR); (ii) motor convencional em uso *versus* motor novo de alto rendimento, adequado à condição de carga; e (iii) motor convencional em uso *versus* motor convencional em uso adequado à condição de carga.

- **Análise econômica**

Para cada situação, foram analisados os dados de entrada para análise econômica, como: número de horas de funcionamento anual, vida útil, taxa de juros, aumento da energia acima da inflação no horizonte de planejamento, preço do consumo e da demanda de energia no horário de ponta e fora de ponta, preço dos motores e de manutenção, dentre outros. Na análise econômica da racionalização do uso de força motriz foram utilizados, como parâmetros econômicos, a taxa interna de retorno (TIR), o valor presente líquido (VPL), a relação benefício/custo (RBC) e taxa de retorno do capital (TRC) (FRIZZONE e SILVEIRA, 2000).

3.3. Técnica de gerenciamento do uso da água

- **Análise da técnica de gerenciamento do uso atual da água**

No Perímetro Irrigado de Mirorós, optou-se, como forma de fornecimento de água aos irrigantes, pela adoção de hidrantes próprios, em que não havia restrição de uso da água em momento algum durante o ano. Como não houve restrição ao uso da água, pôde ocorrer baixo índice de carregamento do motor e da bomba, durante muitas horas do ano, o que pôde aumentar o consumo de energia elétrica, tendo em vista que os rendimentos hidráulico e elétrico são funções do índice de carregamento dos equipamentos.

- **Proposta para técnica de gerenciamento do uso da água**

A utilização do sistema de irrigação por um único irrigante, ou de vários irrigantes ao mesmo tempo, propicia a ineficiência ou eficiência dos conjuntos motobombas, as quais são funções do rendimento e do índice de carregamento dos motores elétricos.

Observa-se que, para diminuir o consumo de energia elétrica, ocorreram algumas mudanças no comportamento dos irrigantes. A irrigação deve ser feita de forma a concentrar o maior número de irrigantes, para maximização do rendimento e do índice de carregamento do conjunto motobomba. Notou-se que o consumo de água (em $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$), para um lote agrícola, era diferente do consumo de vários lotes simultaneamente, o que, certamente, resultaria numa diferença no rendimento do sistema.

O gasto com energia elétrica para o sistema já implantado pode ser estimado pela Equação 1.

$$E = \frac{t_c P n I_c}{\zeta} \quad (1)$$

em que

- E = gasto com energia elétrica, R\$.ano⁻¹;
- t_c = tarifa de consumo, R\$.kWh⁻¹;
- P = potência nominal do motor elétrico, kW;
- n = número de horas de funcionamento anual;
- I_c = índice de carregamento, %; e
- η = rendimento do motor elétrico, %.

3.4. Enquadramento tarifário

- **Análise do enquadramento tarifário atual**

A curva de carga típica do sistema elétrico brasileiro indica que a maior demanda por energia elétrica ocorre no horário compreendido entre 17 e 22 h. O sistema tarifário em vigor no Brasil, aplicável à maioria dos consumidores, pode ser classificado em convencional e horo-sazonal (THS). Visando 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 oferecer tarifas a preços diferenciados, de acordo com o horário do dia (ponta e fora de ponta) e períodos do ano (úmido e seco). Essa estrutura tarifária tem como objetivo a prorrogação da necessidade de ampliação do sistema elétrico nacional (CEMIG, 1988). Os consumidores de energia elétrica que se enquadram no sistema convencional de tarifas podem ser taxados pelo consumo e, ou, demanda de energia elétrica.

Para efeito tarifário, denomina-se horário de ponta o período de três horas consecutivas entre 17 e 22 h, que poderá ser alterado pela concessionária de energia elétrica com autorização da ANEEL, em decorrência das características operacionais do subsistema elétrico de distribuição ou da necessidade de estimular o consumidor a modificar o perfil de consumo e, ou, demanda da unidade consumidora. O sistema tarifário prevê cobranças de

tarifas diferenciadas em períodos seco e úmido. Denomina-se período seco aquele período do ano compreendido entre maio e novembro e período úmido, o intervalo do ano entre dezembro e abril. Buscando ajustar as curvas de oferta e de demanda de eletricidade, cobra-se uma taxa, em média, 5% mais cara durante o período seco. No horário de ponta, a tarifa é cerca de 200% mais cara do que aquela no horário fora de ponta para demanda e cerca de 130% mais cara para o consumo na tarifa azul. No caso da tarifa verde, a tarifa no horário de ponta sofre o referido acréscimo apenas para o consumo de energia elétrica e não para demanda (CEMIG, 1988).

Caso o consumidor tenha registrado uma demanda superior a 10% da que ele contratou, é cobrada a tarifa de ultrapassagem, assim denominada de demanda de energia utilizada por determinado consumidor além da que foi contratada. Essa tarifa corresponde ao acréscimo de cerca de 300% ao valor da tarifa do respectivo horário.

A adequação tarifária auxilia a racionalização econômica, pois visa à celebração de contrato com a concessionária de energia elétrica de interesse do consumidor.

Para a estrutura tarifária, conforme Resolução 456, de 29/11/2000, da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), os consumidores são divididos em dois grupos (A e B), de acordo com a potência instalada (CEMIG, 2001).

No Grupo B estão incluídos os consumidores atendidos em tensão de fornecimento inferior a 2.300 V. A esses consumidores é aplicada apenas a tarifa monômnia convencional, ou seja, é cobrado apenas o consumo de energia elétrica em kWh/mês.

No Grupo A estão incluídos os consumidores da classe industrial/comercial atendidos em tensão de fornecimento igual ou superior a 2.300 V. A esses consumidores é aplicada a tarifa binômnia, ou seja, as tarifas de demanda e de consumo são cobradas de acordo com o contrato de fornecimento.

No Grupo A, dependendo da tensão de fornecimento e da demanda, os consumidores dispõem de três opções tarifárias: (i) tarifa convencional, (ii) tarifa horo-sazonal verde e (iii) tarifa horo-sazonal azul. No Quadro 6, indicam-se essas opções.

Quadro 6 – Opções tarifárias para o Grupo A

Características do consumidor	Tarifa
Tensão $\geq$ 69 kV e qualquer demanda	Azul
Tensão < 69 kV e demanda $\geq$ 300 kW	Azul ou verde
Tensão < 69 kV e 50 kW < demanda < 300 kW	Azul, verde ou convencional

Fonte: CEMIG (2001).

A tarifa convencional contempla os consumidores atendidos com tensão menor que 69 kV e demanda entre 50 kW e 300 kW.

A tarifa azul atinge três tipos de consumidores:

- (i) Os que são atendidos com tensão menor que 69 kV e demanda entre 50 kW e 300 kW, com critério de aplicação opcional.
- (ii) Os que são atendidos com tensão menor que 69 kV e demanda igual ou superior a 300 kW, com critério de aplicação compulsória, os quais não optaram pela tarifa verde.
- (iii) Os que são atendidos com tensão igual ou superior a 69 kV e qualquer demanda, com critério de aplicação compulsória.

A tarifa verde contempla os consumidores atendidos com tensão menor que 69 kV e demanda igual ou superior a 300 kW.

No perímetro de irrigação estudado, é adotada a tarifa horo-sazonal do tipo verde. O contrato estabelece um horário de ponta das 18 às 21 h. A demanda de contrato do Perímetro Irrigado de Mirorós era de 889 kW. O horário para a tarifa reduzida de irrigação foi modificado em outubro de 2002 para o período de 21 h 30 min às 6 h. Essa modificação de horário de tarifa reduzida implicou um aumento de 2,5 horas, ou seja, um incremento de aproximadamente 41,6%. Esse aumento indica a necessidade de refazer os estudos de otimização tarifária, dimensionamento de bombas e de motores. O valor, para efeito de faturamento da demanda, será o maior valor estimado no período da medição, sendo considerado valor mínimo de demanda 10% do valor da demanda contratada.

- **Proposta do enquadramento tarifário**

A verificação da escolha das demandas de contrato foi feita em função do estudo das últimas 24 contas de energia elétrica e das perspectivas de crescimento da demanda (Apêndice D).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Adequação de bombas centrífugas

De acordo com o Quadro 3, podem-se fazer a simulação e verificação das especificações técnicas dos conjuntos motobombas utilizando o programa computacional Agribombas (SANTOS, 2001). Nos Quadros 7, 8 e 9, apresentam-se as simulações de troca do conjunto motobomba nas condições especificadas de vazão e altura manométrica.

Quadro 7 – Características do conjunto motobomba 1 da Estação de Bombeamento EP1 com vazão nominal de $411 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ e pressão manométrica de 980 kPa (100 mca)

Item	Situação Atual	Situação Recomendada	
		1ª Opção	2ª Opção
Fabricante	KSB	Mark Peerless	IMBIL
Modelo	ETA – 150-50	DN 150-50	ITA 150 - 500
Vazão ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	411	411	411
Pressão manométrica (kPa) (mca)	980 (100)	980 (100)	980 (100)
Rotor (mm)	480	480	480
Rotação (rpm)	1.750	1.750	1.780
Potência requerida pela bomba (cv)	196,4	191,0	195,4
Potência nominal do motor (kW) (cv)	220,8 (300)	147,2 (200)	147,2 (200)
Número de estágios	1	1	1
Rendimento da bomba (%)	77,5	79,7	77,9

Quadro 8 – Características do conjunto motobomba 1 da EP1 com vazão de trabalho atual de $500 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ e pressão manométrica de 980 kPa (100 mca)

Item	Situação Atual	Situação Recomendada
		1ª Opção
Fabricante	KSB	Mark Peerless
Modelo	ETA 150-50	DN 150-50
Vazão ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	500	500
Pressão manométrica (kPa) (mca)	980 (100)	980 (100)
Rotor (mm)	480	480
Rotação (rpm)	1.750	1.750
Potência requerida pela bomba (cv)	235,9	231,2
Potência nominal do motor (kW) (cv)	220,8 (300)	184 (250)
Número de estágios	1	1
Rendimento da bomba (%)	78,5	80,1

Quadro 9 – Características do conjunto motobomba 2 da EP1 para vazão nominal de $300 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ e pressão manométrica de 980 kPa (100 mca)

Item	Situação Atual	Situação Recomendada			
		1ª Opção	2ª Opção	3ª Opção	4ª Opção
Fabricante	KSB	EH	KSB	M. Peerless	IMBIL
Modelo	ETA – 150-50	EHF 100-25	Megan 80-250	DN 150-50	ITA 150.500
Vazão ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	300	300	300	300	300
Pressão manométrica (kPa)	980	980	980	980	980
Rotor (mm)	462	266	462	480	480
Rotação (rpm)	1.750	3.500	3.500	1.750	1.780
Potência nominal motor (kW)	184 (250 cv)	110,4 (150)	128,8 (175)	128,8 (175)	128,8 (175)
Número de estágios	1	1	1	1	1
Rendimento da bomba (%)	70,5	81,5	72,1	71,0	70,3
Ganho de rendimento (%)		19,14	3,1	1,0	- 0,4

De acordo com o Quadro 7, com as características do conjunto motobomba 1 da Estação de Bombeamento EP1 para a vazão nominal de $411 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e pressão manométrica de 980 kPa (100 mca), verificou-se que a primeira sugestão de opção de troca do conjunto motobomba 1 seria a substituição do conjunto KSB modelo ETA - 150-50 pelo conjunto Mark Peerless modelo DN 150-50, com a adoção de um motor de 147,2 kW (200 cv) no lugar de um de 220,8 kW (300 cv), o qual atenderá às condições especificadas de forma otimizada, com um ganho de rendimento de 3,6%; a segunda opção de troca seria a substituição por um conjunto motobomba ITA 150 - 500, com a adoção de um motor de 147,2 kW (200 cv) em vez de um de 220,8 kW (300 cv), para atender às condições especificadas de forma otimizada, com um ganho de rendimento de 0,7%.

Conforme mostrado no Quadro 8, com o conjunto motobomba 1 da EP1 para vazão de trabalho atual de $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e pressão manométrica de 980 kPa (100 mca), observou-se que a melhor opção de troca do conjunto motobomba 1 seria a substituição do conjunto KSB modelo ETA 150-50 pelo conjunto Mark Peerless modelo DN 150-50, com a adoção de um motor de 184 kW (250 cv) em vez de um de 220,8 kW (300 cv), que atenderia às especificações de forma otimizada, com um ganho de rendimento de 2,5%.

No Quadro 9, apresenta-se a simulação de troca do conjunto motobomba 2 da EP1 nas condições especificadas de vazão e pressão manométrica.

De acordo com o Quadro 9, constatou-se que, para a vazão de $300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e pressão manométrica de 980 kPa (100 mca), a primeira sugestão de opção de troca do conjunto motobomba 2 seria a substituição do conjunto KSB modelo ETA-150-50 pelo EH modelo EHF-100-25. Nesse caso, a adoção de um motor de 110,4 kW (150 cv) em vez de um de 184,0 kW (250 cv) atenderia às condições especificadas de forma otimizada, com um ganho de rendimento de 19,14%. A segunda opção de troca seria substituir um conjunto motobomba KSB, modelo Meganorm 80-250, com a adoção de um motor de 128,8 kW (175 cv) por um de 184,0 kW (250 cv), que atenderia às condições especificadas de forma otimizada, com um ganho de rendimento de 3,1%. Nessas duas situações, não seriam aproveitados os conjuntos motobombas já existentes, pois a nova rotação dos conjuntos

seria de 3.500 rpm. A terceira opção de troca seria a substituição por um conjunto motobomba Mark Peerless, modelo DN 150-50, com a adoção de um motor de 128,8 kW (175 cv) no lugar de um motor de 184,0 kW (250 cv), que atenderia às condições especificadas de forma otimizada, com um ganho de rendimento de 1,0%. A quarta opção de troca seria a substituição por um conjunto motobomba IMBIL modelo ITA 150.500, com a adoção de um motor de 128,8 kW (175 cv) em vez de um motor de 184 kW (250 cv), que atenderia às condições especificadas de forma otimizada, com uma perda de rendimento de 0,4%.

Essas mudanças não alteram as exigências do sistema, possibilitando uma economia de energia de 30%, e os motores seriam de potência 30% e 40% menor.

4.2. Adequação da força motriz

No Quadro 10, são apresentados os valores médios de corrente elétrica das fases, para os motores dos conjuntos motobomba 1 e 2, em função da vazão de serviço de $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ para cada lote irrigado.

Observou-se, pela análise do Quadro 10: (i) uma variação máxima na corrente do motor 1 de 180 A até 340 A; (ii) que a entrada em funcionamento do motor 2 diminuiu a corrente no motor 1 de 340 para 220 A por fase, diminuindo também o seu índice de carregamento; e (iii) que, no segundo conjunto motobomba, as correntes se mantiveram iguais, porque não tinham um variador hidrocínético, como ocorreu no conjunto 1.

● Análise econômica

No Quadro 11, apresentam-se os índices econômicos utilizados para realização da análise econômica dos dois motores elétricos estudados, na qual foram descritas as informações necessárias para a execução da referida análise para melhor opção de troca, como: preço do motor, taxa de atratividade de investimento, número de horas de funcionamento anual, rendimento e índice de carregamento a plena carga, dentre outras.

Quadro 10 – Correntes de dois motores da Estação de Bombeamento EP1 do Perímetro Irrigado de Mirorós

Número de Lotes Irrigando Simultaneamente	Vazão de Serviço (m³.h⁻¹)	Motor 1	Motor 2
		Corrente Média (A)	Corrente Média (A)
01	25	180	
02	50	180	
03	75	190	
04	100	195	
05	125	200	
06	150	210	
07	175	220	
08	200	225	
09	225	225	
10	250	240	
11	275	250	
12	300	260	
13	325	270	
14	350	280	
15	375	290	
16	400	305	
17	425	315	
18	450	325	
19	475	330	
20	500 (20° lote)	340	
21	525	220	255
22	550	230	255
23	575	240	260
24	600	250	260
25	625	260	260
26	650	270	260
27	675	280	260
28	700	290	260
29	725	300	260
30	750	310	260
31	775	320	260
32	800	330	265
33	825 (33° lote)	340	270

Quadro 11 – Levantamento de dados para realização da análise econômica de motores elétricos da Estação de Bombeamento EP1 do Perímetro Irrigado de Mirorós

Discriminação	Unidade	Motor-Padrão ou Alto Rendimento
Potência nominal	kW (cv)	220,8 a 184 (300 a 250)
Índice de carregamento	%	30 a 90
Rendimento	%	50 a 95
Preço do motor	R\$	9.000,00 a 15.000,00
Nº de horas de funcionamento anual maximizado	H	entre 2.800 e 3.540
Juros	% ano ⁻¹	8
Valor de sucata no ano final da vida útil	% do novo	20
Custo unitário da energia fora de ponta	R\$.kWh ⁻¹	0,04936
Custo unitário da demanda fora de ponta	R\$.kW ⁻¹	5,949
Aumento do preço da energia acima da inflação	%ano ⁻¹	2
Manutenção	%	1
Horizonte de planejamento	Ano	10

Com as correntes elétricas medidas e as informações nominais dos motores elétricos, como tipo de motor, rotação, potência e horário de funcionamento diário, dentre outros, em conjunto com os índices econômicos, pôde-se realizar a análise econômica de vida útil no horizonte de planejamento. Os resultados de aplicação da metodologia para adequação da força motriz encontram-se nos Quadros 12 e 13, respectivamente, para os dois motores estudados.

As siglas utilizadas nos Quadros 12 e 13 são descritas a seguir:

- CO = motor convencional.
- CO AD = motor convencional adequado à condição de carga.
- AR = motor de alto rendimento.
- AR AD = motor de alto rendimento adequado à condição de carga.
- AR AD/h = motor de alto rendimento adequado à condição de carga, com otimização do número de horas de funcionamento anual.
- TIR = taxa interna de retorno.
- VPL = valor presente líquido.
- RBC = relação benefício/custo.
- TRC = tempo de retorno do capital.

Quadro 12 – Análise econômica com a opção mais vantajosa de troca entre os motores analisados com relação ao motor de 220,8 kW (300 cv) para a mesma bomba

Motor de 220,8 kW (300 cv)		
Modelo	HGF 315 A	HGF 315 A adequado
Potência (kW) (cv)	220,80 (300)	198,72 (270)
Horas de funcionamento anual	3.540	3.540
Índice de carregamento (%)	83,00	92,22
Rendimento do motor (%)	94,14	94,47
Gasto com consumo de energia elétrica (R\$/ano)	34.015,85	34.032,21
Gasto com demanda de energia elétrica (R\$/ano)	13.897,23	13.903,91
Conta de energia elétrica (R\$/ano)	47.913,08	47.744,56
Economia anual de energia elétrica (R\$)	-	168,52

Quadro 13 – Análise econômica com a opção mais vantajosa de troca entre os motores analisados pelo motor de 184 kW (250 cv), para melhor opção de troca

Motor de 184 kW (250 cv)				
		Motor PD	Motor AR – AD	
Potência	kW (cv)	184 (250)	184 (250)	
Número de funcionamento anual	h	2.800	2.800	
Índice de carregamento	%	80,00	80,00	
Rendimento	%	92,82	95,79	
Custo do consumo anual	R\$.kWh ⁻¹	21.917,92	21.238,35	
Custo da demanda anual	R\$.kW ⁻¹	11.321,17	10.970,16	
Gasto de energia elétrica anual	R\$.ano ⁻¹	33.239,10	32.208,51	
Preço do motor	R\$	9.789,00	14.879,19	
Economia anual com energia elétrica (R\$)		1.030,59 (2,77 %)		
Análise Econômica dos Motores				
Motores	PD	PD AD	AR	AR-AD
VP (R\$.kWh ⁻¹)	0,053	0,053	0,054	0,054
Comparação Econômica				
Índices econômicos	PD com PD AD	PD com AR	PD com AR AD	
VPL (R\$)	2.470,10	2.195,94	4.608,53	
TIR (% aa)	não converge	16 %	45 %	
RBC (decimal)	1,65	0,43	2,24	
TRC (ano)	imediatamente	4 anos e 4 meses	2 anos e 2 meses	

De acordo com o Quadro 12, a análise econômica com a opção mais vantajosa de troca entre os motores analisados de 220,8 kW (300 cv) tipo HGF 315 A seria a substituição por um motor HGF 315 A de 198,72 kW

(270 cv), do ponto de vista técnico, mas, do ponto de vista econômico, não é viável a substituição. Portanto, não seria recomendável substituir o motor de 220,8 kW (300 cv) por este último. Os resultados de aplicação da metodologia para adequação da força motriz são apresentados no Quadro 13, com relação ao motor estudado.

De acordo com o Quadro 13, com relação ao motor de 184 kW (250 cv) do conjunto motobomba 2, como primeira opção de troca de motores dentre todas as opções estudadas, seria a substituição do motor convencional atual de 184 kW (250 cv) com I_c de 80,00% por um de alto rendimento e adequado à condição de carga de 184,00 kW (250 cv), com I_c de 80%. Logo, a economia anual seria de 2,77%, ou seja, R\$1.030,59. Os parâmetros econômicos dessa situação seriam: VPL de R\$4.608,53, TIR de 45%, RBC de 2,24 vezes e TRC de dois anos e dois meses, os quais reforçariam a tomada de decisão.

Analisando os dois motores elétricos e utilizando sempre a sua melhor opção de troca, observou-se que o potencial total estimado de economia de energia elétrica anual foi de cerca de 3%, representando R\$1.030,59.

É importante observar que a economia aqui descrita refere-se apenas à adequação do uso de motores elétricos. A possível redução de demanda, advinda do uso adequado de bombas hidráulicas e do sistema de irrigação, foi descrita anteriormente.

No Quadro 14, apresenta-se a síntese dos resultados da análise com adequação do conjunto motobomba 1 da EP1.

De acordo com o Quadro 14, com o índice de carregamento de 83% para a situação atual, pôde-se analisar o sistema em uso para a situação projetada e otimizada. Analisou-se a economia anual com gastos de energia elétrica que pode chegar a 8,75% (R\$2.975,86), comparando-se o conjunto atual (motor de 300 cv e bomba com vazão de $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) com o conjunto proposto (motor de 250 cv e bomba de $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), que apresenta melhor desempenho entre o motor e a bomba.

No Quadro 15, apresenta-se a síntese dos resultados da análise com adequação do conjunto motobomba 2 da EP1.

Quadro 14 – Análise do potencial de economia de energia global com adequação do conjunto motobomba 1 da EP1

Item	Situação Atual	Situação Projetada	Situação Otimizada
Potência nominal do motor (kW) (cv)	220,80 (300 cv)	220,80 (300 cv)	184 (250 cv)
Tipo de motor elétrico	Alto Rendimento	Alto Rendimento	Alto Rendimento
Vazão da bomba (m ³ .h ⁻¹)	500	500	500
Altura manométrica (kPa) (mca)	980 (100)	980 (100)	980 (100)
Potência absorvida na bomba (cv)	249,00	235,90	231,19
Rotações por minuto (rpm)	1.750	1.750	1.750
Horas de funcionamento anual	3.540	3.540	3.540
Índice de carregamento (%)	83,00	78,63	92,5
Rendimento do motor (%)	94,14	94,14	95,79
Rendimento da bomba (%)	74,37	78,50	80,10
Valor do consumo de energia (R\$.kWh ⁻¹)	0,04936	0,04936	0,04936
Consumo de energia elétrica (kWh.ano ⁻¹)	689.138,05	652.895,19	628.831,99
Gasto com consumo energia elétrica (R\$ ano ⁻¹)	34.015,85	32.226,91	31.039,99
Economia (%)	-	-	8,75

Quadro 15 – Análise do potencial de economia de energia global com adequação do conjunto motobomba 2 da EP1

Descrição	Situação Atual	Situação Projetada	Situação Otimizada
Potência do motor (kW)	184 (250 cv)	184 (250 cv)	110,4 (150 cv)
Tipo de motor elétrico	Padrão	Padrão	Alto Rendimento
Vazão da bomba (m ³ .h ⁻¹)	300	300	300
Altura manométrica (kPa)	980 (100 mca)	980 (100 mca)	980 (100 mca)
Potência absorvida na bomba (cv)	195,00	157,60	136,33
Rotações por minuto (rpm)	1.750	1.750	3.500
Horas de funcionamento anual	2.800	2.800	2.800
Índice de carregamento (%)	78,0	63,0	90,9
Rendimento do motor (%)	92,82	92,19	94,8
Rendimento da bomba (%)	56,98	70,50	81,50
Valor do consumo de energia (R\$.kWh ⁻¹)	0,04936	0,04936	0,04936
Consumo de energia elétrica (kWh.ano ⁻¹)	432.941,18	352.306,30	296.365,33
Gasto com consumo energia elétrica (R\$.ano ⁻¹)	21.369,98	17.389,84	14.628,59
Economia (%)	-	-	31,6

Conforme o Quadro 15, verificou-se que a economia anual com gastos de energia elétrica pode chegar a 31,6% (R\$6.741,39), comparando o conjunto atual (motor de 250 cv e bomba com vazão de 300 m³.h⁻¹) com o proposto (motor de 150 cv e bomba de 300 m³.h⁻¹), que apresenta desempenho melhor entre o motor e a bomba.

Observou-se que, para o cálculo da otimização, foram empregados os valores das correntes medidas nos motores no local e que, quando utilizados os dados de vazão, altura manométrica e rendimento da bomba pelo catálogo do fabricante, pode-se atribuir essa diferença dos resultados: (i) à escolha do rotor, que não corresponde ao maior rendimento; (ii) à rede desbalanceada; (iii) ao nível de tensão, que não estava dentro dos limites; e (iv) à diferença entre as curvas características nominais da bomba e do motor, como recomendado pelo fabricante.

4.3. Técnica de gerenciamento do uso da água

Atualmente, a gerência do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós (DIPIM) tem solicitado à CODEVASF, órgão do governo federal, que resolva questões de infra-estrutura operacional do projeto. Uma das discussões mais relevantes foi o valor da conta de energia que todo mês era agregado ao preço do produto agrícola, tornando desfavorável a sua competição no mercado. Era aplicada aos seus associados uma tarifa de R\$28,43 por cada 1.000 m³ (Junho/2002) consumidos em sua lavoura, calculada considerando-se a conta de energia e mais R\$8,22/ha irrigáveis, referentes a outros encargos do projeto. Com isso, o Perímetro Irrigado de Mirorós tinha uma das tarifas de irrigação mais caras do Vale do São Francisco.

O comportamento dos irrigantes com relação ao uso da água tem que ser levado em conta, pois o objetivo final era servir os associados no momento em que a lavoura exigisse água, utilizando-se corretamente o período de irrigação. Tanto os dimensionamentos da irrigação quanto o bombeamento da água e a potência dos motores deverão ser acompanhados de gerenciamentos que visem à racionalização do uso de energia.

Observou-se, pela forma de utilização da água pelos irrigantes, que a eficiência do sistema era dependente do número de lotes irrigados simultaneamente. No Quadro 16, apresenta-se o preço diferenciado de 1.000 m³ de água em função do número de irrigantes.

Quadro 16 – Custo da energia em cada situação de carga dos conjuntos motobombas 1 e 2

Conjuntos Motobombas 1 e 2						
Número de Lotes Irrigando	Índice de Carregamento (%)		Rendimento (%)		E R\$.ano ⁻¹	Valor R\$/1.000 m ³
	220,8 kW	184,0 kW	220,8 kW	184,0 kW		
1	34		91,2		14.383,40	163,31
2	34		91,2		14.383,40	81,65
3	37		91,5		15.601,20	59,05
4	39		91,5		16.444,51	46,68
5	42		92,2		17.575,02	39,91
6	46		92,5		19.186,40	36,31
7	50		92,8		20.787,37	33,72
8	51		92,8		21.203,12	30,09
9	51		92,8		21.203,12	26,75
10	56		93,2		23.181,93	26,32
11	58		93,5		23.932,82	24,70
12	62		93,8		25.501,54	24,13
13	65		93,8		26.735,48	23,35
14	66		93,8		27.146,80	22,02
15	70		93,8		28.792,06	21,79
16	73		94,1		29.930,28	21,24
17	76		94,1		31.160,29	20,81
18	80		94,1		32.800,30	20,69
19	81		94,1		33.210,31	19,85
20	82		94,1		33.620,31	19,09
21	48	73	92,2	92,5	40.155,04	24,94
22	51	73	92,5	92,5	41.341,18	24,34
23	55	75	93,2	92,5	43.387,11	24,29
24	58	75	93,5	92,5	44.551,96	23,77
25	62	75	93,5	92,5	46.202,50	23,54
26	64	75	93,5	92,5	47.027,77	22,93
27	66	75	93,8	92,5	47.765,94	22,33
28	70	75	93,8	92,5	49.411,20	22,19
29	73	75	93,8	92,5	50.645,14	21,88
30	75	75	93,8	92,5	51.467,77	21,42
31	78	75	94,1	92,5	52.599,43	21,12
32	81	76	94,1	92,8	54.036,83	20,95
33	82	78	94,1	92,8	54.994,89	20,62

Para o cálculo dessa tabela foram considerados os seguintes dados:

- A tarifa aplicada de consumo era de R\$0,04936 kW⁻¹.
- A potência no conjunto 1 era de 220,8 kW (300 cv) e para o conjunto 2, de 184 kW (250 cv).
- O número de horas de funcionamento anual previsto para o conjunto 1 era de 3.540 h e para o conjunto 2, de 2.800 h.
- A vazão permitida nos lotes era de 24,88 m³.h⁻¹.

Analisando o Quadro 16, observou-se uma diminuição no valor da água com o aumento do número de lotes funcionando e que, quando entra em funcionamento a segunda motobomba no lote 21, ocorre aumento no preço da água em relação ao incremento do número de irrigantes, concluindo-se que, quando a segunda motobomba entra em funcionamento para levar água a 13 lotes, a primeira motobomba reduz para oito lotes, elevando, progressivamente, o índice de carregamento por meio do variador hidrocínético, conforme o aumento da demanda de água.

De acordo com o Quadro 16, observou-se que, quando apenas um lote irrigando utilizava o sistema de bombeamento de água, o preço era de R\$163,31/1.000 m³. Já para um número de lotes irrigando simultaneamente, por exemplo igual a 15, o custo do sistema de bombeamento da água era de R\$21,79/1.000 m³, ou seja, quanto maior o número de lotes irrigados simultaneamente, menor o custo de R\$/1.000 m³ (Figura 3).

4.4. Adequação tarifária

O sistema implantado no Perímetro Irrigado de Mirorós funcionava, no máximo, 20 horas diárias. O horário de ponta era das 18 às 21 h e o número de horas de incentivo tarifário noturno, de 8,5 h, obedecendo-se, assim, ao contrato com a concessionária de energia elétrica.

No Quadro 17, mostram-se as diferenças de preços na aplicação das tarifas energéticas nesse perímetro.

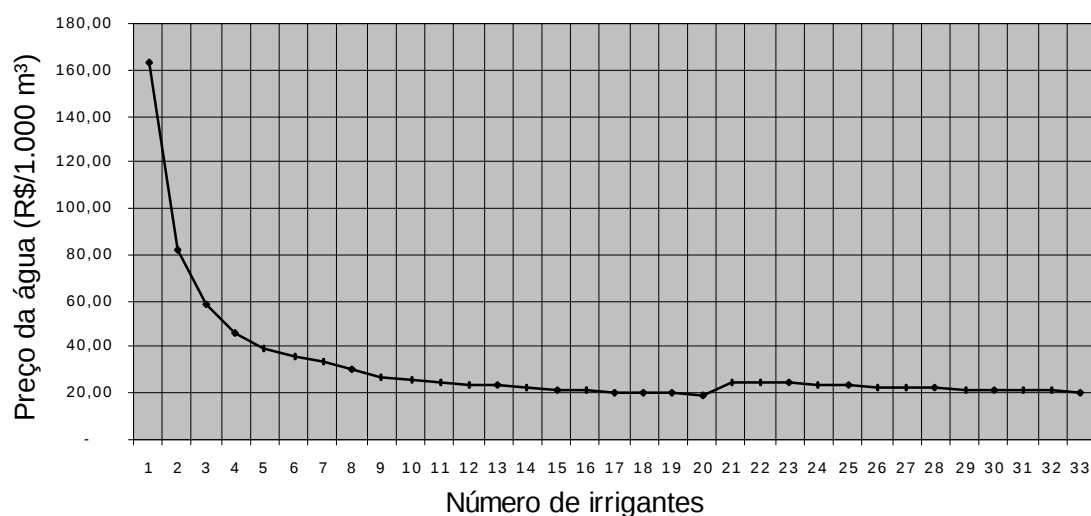


Figura 3 – Preço da água no perímetro irrigado, considerando-se apenas o custo do consumo de energia elétrica em função do número de irrigantes.

Quadro 17 – Características técnicas dos motores e tarifas energéticas horosazonais de irrigação

Item	Motores kW (cv)		Tarifas (Tipo A4)			
	184,0 (250)	220,8 (300)	Convencional	Azul	Verde	Irrigação
Rendimento (%)	92,8	94,1	-	-	-	-
Ic (%)	78,0	83,0	-	-	-	-
Funcionamento anual total (h)	2800	3540	-	-	-	-
Funcionamento irrigação noturna anual (h)	2200	2200	-	-	-	-
Funcionamento irrigação diurna anual (h)	600	1340	-	-	-	-
Preço demanda (R\$.kW ⁻¹)	-	-	7,83	6,87	6,87	7,83
Preço consumo (R\$.kWh ⁻¹)	-	-	0,1145	0,057	0,057	0,01145
Custo demanda (R\$.ano ⁻¹)	-	-	32.830,53	28.805,33	28.805,33	32.830,53
Custo consumo (R\$.ano ⁻¹)	-	-	128.522,00	63.980,53	63.980,53	49.307,63
Custo da energia elétrica (R\$.ano ⁻¹)	-	-	161.352,83	92.785,87	92.785,87	82.138,16

Analisando o Quadro 17, verificou-se que a tarifa azul e a tarifa verde tinham o mesmo custo anual, sendo isso possível quando era obedecido o contrato de não se usar o horário de ponta. Já, na tarifa convencional, o valor a ser cobrado pela energia seria maior, sendo assim descartada. Nas tarifas horo-sazonais de irrigação, o incentivo para o horário noturno variava de 60 a 90% da tarifa convencional, para consumo de energia elétrica em função da região do Brasil, desde que se cumpra, rigorosamente, o contrato com a concessionária. No Nordeste do Brasil, esse desconto era de 90%. O contrato vigente no perímetro para fornecimento de energia elétrica com a concessionária era do tipo tarifa horo-sazonal verde A4.

Síntese das principais indicações de racionalização do uso da energia

- (i) Para o motor de 220,8 kW (300 cv) do conjunto motobomba 1, pela adequação da força motriz, tecnicamente seria melhor a substituição por um motor de HGF 315 A de 198,7 kW (270 cv), mas economicamente não seria viável.
- (ii) A substituição do motor convencional atual de 184,0 kW (250,0 cv) com I_c de 80% e rendimento de 92,82% por um motor de alto rendimento adequado a essa condição de carga com rendimento de 95,79% proporcionou um ganho no rendimento de 3,0%, ou seja, uma economia anual de R\$1.030,59.
- (iii) O conjunto motobomba 1 sugerido para substituir o conjunto KSB modelo ETA - 50-50 foi o conjunto Mark Peerless, modelo DN 150-50, com a adoção de um motor de 147,2 kW (200 cv) em vez de um motor de 220,8 kW (300 cv), que atenderia às condições especificadas de forma otimizada, com um rendimento de 79,7%, para a vazão nominal de $411 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
- (iv) O conjunto motobomba 2 sugerido para substituir o conjunto KSB modelo ETA - 150-50 pelo conjunto motobomba Mark Peerless modelo DN 150-50, com a adoção de um motor de 128,8 kW (175 cv) em vez de um de 184,0 kW (250 cv), atenderia às condições especificadas, com um rendimento de 71,0%

- (v) O potencial de economia de energia global com a adequação do conjunto motobomba 1 foi cerca de 8,75%.
- (vi) O potencial de economia de energia global com a adequação do conjunto motobomba 2 foi cerca de 31,6%. Recomenda-se revisar as otimizações hidráulica e elétrica (dimensionamento de bombas e motores), tendo em vista a ampliação em cerca de 41% do horário de desconto na tarifa de irrigação (das 21 h 30 às 6 h).
- (vii) Observou-se que, quando apenas um irrigante utilizava o sistema de bombeamento de água, o custo era de R\$163,31/1.000 m³. Quando o número de irrigantes era maior, por exemplo igual a 15, o custo do sistema de bombeamento da água passava para R\$21,79/1.000 m³, ou seja, quanto maior o número de lotes irrigados simultaneamente, menor o custo de 1.000 m³ de água. A utilização maximizada da operação do bombeamento de água é uma forma de minimizar o custo do bombeamento em função do número de irrigantes.
- (viii) De acordo com o exposto, o potencial de economia anual de energia pode variar de 3% a 32% e o ganho de rendimento percentual no uso de energia, entre 3% e 19%.

5. CONCLUSÃO

Os resultados permitiram as seguintes conclusões:

- (i) É importante a racionalização do uso de energia elétrica em perímetros irrigados e em estações de bombeamento, em geral.
- (ii) Devem-se considerar, de forma integrada, os aspectos da adequação da força motriz, do dimensionamento hidráulico e, especialmente, das bombas e do manejo no uso da água, com avaliação econômica de vida útil.
- (iii) O patamar de economia de energia de 31,6% é significativo e mostra, assim, a importância do estudo da racionalização.
- (iv) O contrato de demanda entre o Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Mirorós e a concessionária obedece a critérios técnicos de minimização de custos com demanda contratada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIBOMBAS, **Programa para seleção de bombas agrícolas**, versão 1.0. Uso racional de energia na agricultura. Belo Horizonte: CEMIG, 2000. Disponível em: <www.cemig.com.br>
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1995. 657 p.
- CAMPANA, S. **Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipos pivô central e aspersão convencional**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Tarifas horo-sazonais**, manual de orientação ao consumidor. Rio de Janeiro: 1988.
- CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. Condições gerais de fornecimento de energia elétrica. **Resolução ANEEL 456**, Rio de Janeiro, 29 de novembro de 2000. 2001.
- CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos**. Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM/Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem – ABID, n. 54, 2002.
- FRIZZONE, J. A.; SILVEIRA, S. de F.R. Avaliação e custos de projetos de irrigação. In: SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., CEMIG, 2000, Uberaba. **Anais...** [S.l.]: CEMIG, 2000. v.1, p. 1-87,
- KSB, **Bombas hidráulicas**. Manual técnico e curvas características série ETA. São Paulo: [s.n.], [s.d.].

POZZEBON, E. J.; SILVA, L. M. C. da. O processo de outorga de águas e licenciamento ambiental para irrigação. Mini curso. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, MG: Agência Nacional de Águas, 2002.

SANTOS, J. R. M. dos. Irrigar é preciso. **Agroanalysis**. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro: FGV, 1998. v. 3.

SANTOS, W. L. **Desenvolvimento de um metodologia para representação analítica de curvas características de bombas hidráulicas, visando à sua seleção, seu dimensionamento e a simulação de sua operação**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2001. 698 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SANTOS, W. L. **Agribombas** – Programa racional para seleção de bombas agrícolas, Universidade Federal de Viçosa, 2000. Disponível, via URL, em: <www.ufv.br>.

TEIXEIRA, C. A.; OLIVEIRA FILHO, D.; LACERDA FILHO, A.F. Racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração da Universidade Federal de Viçosa – Estudo de caso. In: SEMINÁRIO DE ENERGIA NA AGRICULTURA – INDICANDO NOVOS CAMINHOS PARA A PRODUTIVIDADE NO CAMPO, 2., 2001, Uberaba. **Anais...** Uberaba, MG: Fazenda Energética – Companhia Energética de Minas Gerais, 2001.

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

WEG **Catálogo eletrônico 2000**. Jaraguá do Sul. Disponível em: <www.weg.com.br>. Acesso em: 01 ago. 2002.

2. CONCLUSÃO GERAL

Neste trabalho, estudaram-se as opções de racionalização do uso de energia elétrica no bombeamento de água para irrigação. Tais opções foram: (i) implicações nos custos da energia elétrica devido à ampliação do horário de incentivo tarifário para a irrigação noturna, (ii) otimização do número de horas de funcionamento em um sistema de irrigação, (iii) avaliação preliminar da utilização dos fatores de segurança no dimensionamento de motobombas para irrigação e (iv) estudo da racionalização do uso de energia elétrica em uma estação de bombeamento de água no Perímetro Irrigado de Mirorós, Bahia.

Essas opções se mostraram viáveis técnica e economicamente, acarretando redução nos custos dos produtos agrícolas e aumentando a rentabilidade do produtor rural.

• Incentivo tarifário para irrigação noturna

O aumento do horário de incentivo tarifário para a irrigação no horário noturno em 42% vem atender às solicitações de diversas áreas da economia, como a tentativa de regularização da demanda de energia elétrica, o uso dos mananciais hídricos em períodos prováveis de menor consumo e uma diminuição nos custos de produção agrícola.

Nesta tese, demonstrou-se que a ampliação do horário de incentivo tarifário para a irrigação acarreta necessidade de redimensionar o sistema

implantado. Esse redimensionamento técnico de motores e bombas otimizadas poderá vir na forma de economia para os consumidores.

- **Otimização do número de horas de funcionamento na irrigação**

Demonstrou-se que a otimização do número de horas de funcionamento anual na irrigação gera racionalização do uso de energia, tendo em vista a redução significativa nas potências dos motores e o aumento irrisório no consumo de energia.

As vantagens dessa otimização não se restringem apenas a aspectos econômicos como a diminuição dos gastos com energia elétrica, mas também a uma menor demanda instantânea de água e, ou, a possibilidade de aumento da área plantada sem alteração da lâmina de água para irrigação a ser aplicada ou da vazão de outorgada de projeto. Essa menor demanda instantânea de água representa uma menor ação sobre os mananciais hídricos.

- **Análise preliminar de fatores de segurança aplicados ao dimensionamento de motores elétricos em sistemas de bombeamento de água**

A análise preliminar da necessidade de fatores de segurança ou de acréscimo aplicados no dimensionamento de motores elétricos em sistemas de bombeamento de água foi questionada, sendo mostrado, em alguns casos, que a adoção desses fatores tem conseqüências negativas no rendimento do conjunto motobomba. Questiona-se se os fatores de serviço dos motores elétricos possam suprir a função dos fatores de segurança e, ou, de acréscimo propostos na literatura.

Essas análises preliminares comprovaram a necessidade de que não somente motores elétricos, mas também bombas hidráulicas, tenham certificado de suas curvas características emitido por agente credenciado em órgãos competentes.

- **Racionalização do uso de energia elétrica no bombeamento de água em perímetro irrigado**

A aplicação de metodologias de seleção de bombas e a adequação do uso de força motriz no Perímetro Irrigado de Mirorós, Bahia, geraram um

potencial de economia com os gastos com energia elétrica de cerca de 31,6%. Já o gerenciamento do uso da água poderá gerar uma economia suplementar. Esse grande potencial de economia poderá ser alcançado se os conjuntos motobombas não continuarem trabalhando com baixa carga, ou seja, é necessário que um número mínimo de lotes seja irrigado simultaneamente. Acredita-se que a conscientização dos produtores para a adoção dessas medidas será possível, tendo em vista os patamares de economia apresentados.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Resoluções da ANEEL publicadas no Diário Oficial da União

PORTARIA Nº 105, DE 3 DE ABRIL DE 1992

O DIRETOR DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA – DNAEE, da SECRETARIA NACIONAL DE ENERGIA – SNE, do MINISTÉRIO DA INFRA-ESTRUTURA – MINFRA, no uso de suas atribuições, de acordo com a legislação que rege a fixação das tarifas de energia elétrica e considerando a Exposição de Motivos nº 032, de 11 de março de 1992, do MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA, em conjunto com o MINISTÉRIO DA INFRA-ESTRUTURA, bem como o disposto na Portaria nº 45, de 20 de março de 1992, do MINISTÉRIO DA INFRA-ESTRUTURA, resolve:

Art. 1º – Para as unidades consumidoras de energia elétrica classificadas como Rural, inclusive Cooperativas de Eletrificação Rural, serão concedidos descontos especiais na tarifa de consumo de energia elétrica utilizada exclusivamente na atividade de irrigação, desde que sejam preenchidas, cumulativamente, as seguintes condições:

I – que o consumidor o solicite;

II – que a unidade consumidora seja atendida por meio do Sistema Elétrico Interligado;

III – que o consumidor não possua débito vencido junto ao concessionário.

§ 1º – Os descontos mencionados no “caput” deste artigo incidirão somente sobre o consumo de energia elétrica verificado no período compreendido entre as 23 (vinte e três) e as 5 (cinco) horas;

§ 2º – Os descontos previstos nesta Portaria serão concedidos sem prejuízo do direito de opção do consumidor por qualquer modalidade tarifária vigente.

§ 3º – No caso das unidades consumidoras classificadas como Cooperativas de Eletrificação Rural, o consumo sujeito aos descontos estabelecidos nesta Portaria será aquele correspondente ao somatório dos consumos dos cooperados, verificados no período estabelecido no parágrafo 1º, cabendo às Cooperativas fornecer os dados necessários para que o concessionário possa elaborar a fatura com os descontos.

Figura 1A – Portaria nº 105, de 3 de abril d 1992 – DNAEE.

Continua...

§ 4º – As Cooperativas de Eletrificação Rural deverão repassar integralmente aos seus cooperados, responsáveis pelo consumo exclusivo para fins de irrigação, nos termos desta Portaria, os descontos por ela obtidos.

Art. 2º – Para a energia elétrica utilizada nas condições estabelecidas no art. 1º, serão concedidos os seguintes descontos aplicáveis às tarifas de consumo correspondente ao subgrupo e à modalidade tarifária a que pertencer a unidade consumidora:

Regiões do País:	Grupo “A”	Grupo “B”
Nordeste e regiões geoeconômicas denominadas Vale do Jequitinhonha e Polígono da Seca, no Estado de Minas Gerais	90%	73%
Norte e Centro-Oeste e demais Regiões do Estado de Minas Gerais	80%	73%
Demais Regiões	70%	60%

Parágrafo único – Os descontos a que se refere este artigo serão aplicados de forma não cumulativa com outros descontos concedidos à classe rural.

Art. 3º – Os equipamentos necessários para a medição e controle da energia fornecida em conformidade com o estabelecido nesta Portaria deverão ser instalados às expensas do consumidor interessado, de acordo com especificações feitas pelo concessionário,

Art. 4º – Caberá ao concessionário fiscalizar o uso da energia nas condições estabelecidas nesta Portaria.

Parágrafo único – Sendo constatado o descumprimento de qualquer uma das condições previstas nesta Portaria, o consumidor perderá o direito aos descontos previsto no art. 2º, enquanto não for regularizada a situação.

Art. 5º – O concessionário poderá não atender ou suspender a aplicação dos descontos caso se configure a ocorrência de qualquer das hipóteses previstas no art. 75 da Portaria nº 222, de 22 de dezembro de 1987.

Art. 6º – Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

RICARDO PINTO PINHEIRO

RESOLUÇÃO Nº 277, DE 19 DE JULHO DE 2000

Inclui municípios do Norte do Espírito Santo e Nordeste de Minas Gerais nos Descontos tarifários para irrigação.

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, e tendo em vista o disposto no inciso IV e X, art. 4º, do anexo I do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997; e

Considerando a Lei nº 9.690, de 14 de julho de 1998, e o Decreto nº 2.885, de 17 de dezembro de 1998, que incluíram na área de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, os municípios do Norte do Estado do Espírito Santo e do Nordeste do Estado de Minas Gerais;

Considerando a adequacidade de estender a estes municípios os mesmos benefícios dispensados pela regulamentação do Setor Elétrico aos da região Nordeste;

Considerando o que consta do Processo nº 48500.004323/99-81, resolve:

Art. 1º O art. 2º da Portaria DNAEE nº 105, de 3 de abril de 1992, passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 2º Para a energia elétrica utilizada nas condições estabelecidas no art. 1º, serão concedidos os seguintes descontos aplicáveis às tarifas de consumo correspondente ao subgrupo e à modalidade tarifária a que pertencer a unidade consumidora:”

Regiões do País:	Grupo “A”	Grupo “B”
Nordeste e regiões geoeconômicas incluídas na área de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE	90%	73%
Norte e Centro-Oeste	80%	73%
Demais Regiões	70%	60%

Art. 2º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ MÁRIO MIRANDA ABDO

(Of. El. nº 490/2000)

Figura 2A – Resolução nº 277, de 19 de julho de 2000.

RESOLUÇÃO Nº 540, DE 1º DE OUTUBRO DE 2002

Altera o § 1º do art. 1º da Portaria DNAEE nº 105, de 3 de abril de 1992, e inclui o item 4 na alínea “a” do inciso IV do art. 20 da Resolução nº 456, de 29 de novembro de 2000, que trata das Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto nos incisos IV e X, art. 4º, Anexo I do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, o que consta do Processo nº 48500.002614/02-50, e considerando que:

a Portaria DNAEE nº 105, de 1992, regulamentou a concessão de descontos especiais na tarifa de energia elétrica para os consumidores classificados como Rural, inclusive Cooperativas de Eletrificação Rural, quando a energia elétrica for utilizada exclusivamente na atividade de irrigação, no horário compreendido entre 23h e 5h do dia seguinte;

o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, estabeleceu que os descontos especiais nas tarifas de energia elétrica de unidades consumidoras da Classe Rural, serão concedidos ao consumo que se verifique na atividade de irrigação desenvolvida no horário compreendido entre 21h30 e 6h do dia seguinte; e,

existe a necessidade de incluir na Resolução nº 456, de 2000, na Classe Rural, Subclasse Agropecuária, o serviço de bombeamento

Art. 1º Alterar o § 1º do art. 1º da Portaria DNAEE nº 105, de 1992, que passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 1º

§ 1º Os descontos mencionados no “caput” deste artigo incidirão somente sobre o consumo de energia elétrica verificado no período compreendido entre 21h30 e 6h do dia seguinte.”

Art. 2º Incluir o item 4 na alínea “a” do inciso IV do art. 20 da Resolução nº 456, de 2000, com a seguinte redação:

“Art. 20

IV – Rural

.....

a) Agropecuária

.....

4. serviço de bombeamento de água destinada à atividade de irrigação agrícola.”

Art. 3º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ MÁRIO MIRANDA ABDO

Figura 3A – Resolução nº 540, de 1º de outubro de 2002.

APÊNDICE B

Economia anual de energia elétrica

Quadro 1B – Economia anual de energia elétrica em sistemas de irrigação de 2 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de irrigação (2; 5 e 7) mm.dia⁻¹ e pressão (20; 40 e 60) mca para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h

Lâmina de Irrigação mm.dia ⁻¹	Pressão mca	Jornada h	Potência do Motor cv	Índice de Carga %	Rend. da Bomba %	Rend. do Motor %	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Gasto Energia R\$.ano ⁻¹	Gasto Demanda R\$.ano ⁻¹	Gasto Total R\$.ano ⁻¹	Custo da Água R\$/1.000 m ³
2	20	6	1,00	85,44	58	79	1042	10	53,98	89,93	143,92	16,43
		8,5	0,75	85,59	54	70	1250	8	64,74	76,13	140,86	16,08
		*8,5	1,00	76,95	45	79	1341	9	69,46	81,68	151,14	17,25
2	40	6	3,00	62,12	53	82	2199	20	113,95	189,84	303,79	34,68
		8,5	2,00	67,82	51	82	2268	15	117,50	138,17	255,67	29,19
		*8,5	3,00	47,43	49	80	2438	16	126,31	148,53	274,84	31,37
2	60	6	4,00	69,88	53	85	3184	29	164,97	274,83	439,79	50,20
		8,5	3,00	69,03	51	82	3449	22	178,67	210,11	388,78	44,38
		*8,5	4,00	54,47	48	84	3571	23	185,01	217,56	402,57	45,96
5	20	6	3,00	70,23	59	82	2477	23	128,31	213,76	342,07	15,62
		8,5	2,00	65,52	67	83	2174	14	112,62	132,43	245,05	11,19
		*8,5	3,00	57,87	50	82	2914	19	150,99	177,56	328,55	15,00
5	40	6	5,00	79,65	62	86	4484	41	232,33	387,04	619,37	28,28
		8,5	4,00	69,83	62	85	4507	29	233,53	274,62	508,15	23,20
		*8,5	5,00	63,38	55	85	5094	33	263,92	310,36	574,28	26,22
5	60	6	7,50	87,40	57	90	7056	64	365,56	609,00	974,56	44,50
		8,5	5,00	83,13	63	88	6505	42	337,03	396,33	733,36	33,49
		*8,5	7,50	58,10	60	89	6743	43	349,37	410,84	760,21	34,71

Continua...

Quadro 1B, cont.

Lâmina de Irrigação mm.dia ⁻¹	Pressão mca	Jornada h	Potência do Motor cv	Índice de Carga %	Rend. da Bomba %	Rend. do Motor %	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Gasto Energia R\$.ano ⁻¹	Gasto Demanda R\$.ano ⁻¹	Gasto Total R\$.ano ⁻¹	Custo da Água R\$/1.000 m ³
7	20	6	4,00	68,59	63	85	3113	28	161,29	268,69	429,98	14,02
		8,5	3,00	69,64	58	83	3465	22	179,53	211,12	390,65	12,74
		*8,5	4,00	62,89	49	85	4075	26	211,12	248,26	459,38	14,98
7	40	6	6,00	84,85	68	87	5646	52	292,50	487,28	779,78	25,43
		8,5	5,00	78,97	62	87	6226	40	322,59	379,35	701,94	22,89
		*8,5	6,00	65,81	62	86	6274	40	325,06	382,26	707,32	23,07
7	60	6	10,00	80,39	65	90	8653	79	448,30	746,85	1.195,15	38,98
		8,5	7,50	85,77	57	90	9809	63	508,18	597,60	1.105,79	36,07
		*8,5	10,00	67,28	54	90	10297	66	533,50	627,37	1.160,87	37,86

(*) O sistema de bombeamento mantém o mesmo usado para 6 h, variando a vazão para o período de 8,5 h.

Quadro 2B – Economia anual de energia elétrica em sistemas de irrigação de 5 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de irrigação (2; 5 e 7) mm.dia⁻¹ e pressão (20; 40 e 60) mca para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h

Lâmina de Irrigação mm.dia ⁻¹	Pressão mca	Jornada h	Potência do Motor cv	Índice de Carga %	Rend. da Bomba %	Rend. do Motor %	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Gasto Energia R\$.ano ⁻¹	Gasto Demanda R\$.ano ⁻¹	Gasto Total R\$.ano ⁻¹	Custo da Água R\$/1.000 m ³
2	20	6	3,00	70,23	59	83	2467	23	127,80	212,90	340,70	15,56
		8,5	2,00	65,52	67	83	2174	14	112,62	132,43	245,05	11,19
		*8,5	3,00	57,98	50	82	2920	19	151,29	177,91	329,21	15,03
2	40	6	5,00	79,65	62	87	4450	41	230,55	384,09	614,64	28,07
		8,5	4,00	69,83	62	86	4473	29	231,73	272,50	504,23	23,02
		*8,5	5,00	63,61	55	85	5113	33	264,89	311,49	576,38	26,32
2	60	6	7,50	87,40	57	90	7048	64	365,15	608,32	973,47	44,45
		8,5	5,00	83,13	63	88	6505	42	337,03	396,33	733,36	33,49
		*8,5	7,50	58,10	60	88	6768	44	350,67	412,38	763,05	34,84
5	20	6	6,00	75,87	68	89	4973	45	257,64	429,22	686,87	12,55
		8,5	4,00	82,52	66	86	5266	34	272,81	320,81	593,62	10,84
		*8,5	6,00	62,60	58	88	5879	38	304,58	358,18	662,76	12,11
5	40	6	10,00	84,10	73	91	8986	82	465,56	775,60	1.241,16	22,67
		8,5	7,50	85,82	68	90	9814	63	508,47	597,94	1.106,41	20,21
		*8,5	10,00	65,23	67	89	10020	65	519,13	610,48	1.129,61	20,63
5	60	6	15,00	90,11	69	91	14443	132	748,30	1.246,62	1.994,92	36,44
		8,5	12,50	83,39	63	91	15779	102	817,52	961,37	1.778,89	32,49
		*8,5	15,00	71,90	61	91	16326	105	845,85	994,68	1.840,54	33,62

Continua...

Quadro 2B, cont.

Lâmina de Irrigação	Pressão	Jornada	Potência do Motor	Índice de Carga	Rend. da Bomba	Rend. do Motor	Energia	Demanda	Gasto Energia	Gasto Demanda	Gasto Total	Custo da Água
mm.dia ⁻¹	mca	h	cv	%	%	%	kWh.ano ⁻¹	kW	R\$.ano ⁻¹	R\$.ano ⁻¹	R\$.ano ⁻¹	R\$/1.000 m ³
7	20	6	7,50	74,44	77	88	6167	56	319,54	532,33	851,87	11,11
		8,5	6,00	75,20	68	89	6983	45	361,77	425,43	787,20	10,27
		*8,5	7,50	57,12	71	86	6833	44	354,04	416,33	770,37	10,05
7	40	6	12,50	90,97	76	91	12150	111	629,49	1.048,69	1.678,19	21,89
		8,5	10,00	83,34	73	91	12615	81	653,57	768,57	1.422,14	18,55
		*8,5	12,50	77,83	63	91	14727	95	763,02	897,28	1.660,30	21,66
7	60	6	20,00	89,28	73	92	18737	171	970,76	1.617,23	2.587,99	33,76
		8,5	15,00	89,32	68	91	20280	131	1.050,69	1.235,56	2.286,25	29,83
		*8,5	20,00	74,27	62	92	22242	143	1.152,36	1.355,13	2.507,49	32,71

(*) O sistema de bombeamento mantém o mesmo usado para 6 h, variando a vazão para o período de 8,5 h.

Quadro 3B – Economia anual de energia elétrica em sistemas de irrigação de 50 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de irrigação (2; 5 e 7) mm.dia⁻¹ e pressão (20; 40 e 60) mca para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h

Lâmina de irrigação mm.dia ⁻¹	Pressão mca	Jornada h	Potência do Motor cv	Índice de Carga %	Rend. da Bomba %	Rend. do Motor %	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Gasto Energia R\$.ano ⁻¹	Gasto Demanda R\$.ano ⁻¹	Gasto Total R\$.ano ⁻¹	Custo da Água R\$/1.000m ³
2	20	6	20,00	78,34	79	92	16500	151	854,85	1.424,13	2.278,98	10,41
		8,5	12,50	88,14	79	91	16556	107	857,77	1.008,71	1.866,48	8,52
		*8,5	20,00	62,07	70	91	18791	121	973,57	1.144,88	2.118,45	9,67
2	40	6	40,00	75,00	82	93	31259	285	1.619,54	2.698,05	4.317,58	19,71
		8,5	25,00	86,39	81	92	31993	206	1.657,54	1.949,19	3.606,73	16,47
		*8,5	40,00	59,04	74	92	35109	226	1.819,00	2.139,07	3.958,07	18,07
2	60	6	50,00	91,90	81	92	48048	439	2.489,39	4.147,18	6.636,57	30,30
		8,5	40,00	84,33	78	92	49970	322	2.588,97	3.044,51	5.633,48	25,72
		*8,5	50,00	67,47	78	92	50330	324	2.607,57	3.066,40	5.673,97	25,91
5	20	6	40,00	93,87	82	92	39261	359	2.034,11	3.388,71	5.422,82	9,90
		8,5	30,00	86,66	84	93	38239	247	1.981,14	2.329,73	4.310,87	7,87
		*8,5	40,00	71,01	77	92	42076	271	2.179,98	2.563,56	4.743,53	8,66
5	40	6	100,00	72,28	85	94	74255	678	3.847,16	6.409,13	10.256,28	18,73
		8,5	60,00	89,11	82	93	78358	505	4.059,71	4.774,05	8.833,76	16,13
		*8,5	100,00	53,46	82	92	79196	511	4.103,17	4.825,15	8.928,32	16,31
5	60	6	125,00	91,68	81	94	117312	1071	6.077,96	10.125,51	16.203,47	29,60
		8,5	100,00	81,39	80	93	119293	769	6.180,57	7.268,09	13.448,66	24,56
		*8,5	125,00	68,80	76	94	125159	807	6.484,48	7.625,47	14.109,95	25,77

Continua...

Quadro 3B, cont.

Lâmina de irrigação mm.dia ⁻¹	Pressão mca	Jornada h	Potência do Motor cv	Índice de Carga %	Rend. da Bomba %	Rend. do Motor %	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Gasto Energia R\$.ano ⁻¹	Gasto Demanda R\$.ano ⁻¹	Gasto Total R\$.ano ⁻¹	Custo da Água R\$/1.000m ³
7	20	6	75,00	88,36	65	93	68563	626	3.552,25	5.917,83	9.470,08	12,35
		8,5	40,00	92,88	82	93	54837	354	2.841,09	3.341,00	6.182,09	8,07
		*8,5	75,00	84,55	48	93	92938	599	4.815,11	5.662,36	10.477,47	13,67
7	40	6	125,00	81,82	85	95	104333	953	5.405,49	9.005,21	14.410,70	18,80
		8,5	100,00	71,35	86	94	103836	669	5.379,72	6.326,32	11.706,04	15,27
		*8,5	125,00	58,38	84	93	107324	692	5.560,46	6.538,86	12.099,32	15,79
7	60	6	175,00	90,44	82	95	161468	1475	8.365,63	13.936,64	22.302,27	29,10
		8,5	125,00	90,71	81	95	163869	1056	8.490,03	9.983,91	18.473,94	24,10
		*8,5	175,00	64,79	81	94	165017	1064	8.549,55	10.053,91	18.603,46	24,27

(*) O sistema de bombeamento mantém o mesmo usado para 6 h, variando a vazão para o período de 8,5 h.

Quadro 4B – Economia anual de energia elétrica em sistemas de irrigação de 100 hectares e desconto tarifário de 67% em função da lâmina de irrigação (2; 5 e 7) mm.dia⁻¹ e pressão (20; 40 e 60) mca para dimensionamento, em função de o número de horas de incentivo à irrigação noturna ser de 6 ou 8,5 h

Lâmina de Irrigação mm.dia ⁻¹	Pressão mca	Jornada h	Potência do Motor cv	Índice de Carga %	Rend. da Bomba %	Rend. do Motor %	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Gasto Energia R\$.ano ⁻¹	Gasto Demanda R\$.ano ⁻¹	Gasto Total R\$.ano ⁻¹	Custo da Água R\$/1.000m ³
2	20	6	40,00	73,49	84	93	30626	280	1.586,76	2.643,44	4.230,20	9,66
		8,5	25,00	85,65	81	92	31718	204	1.643,28	1.932,43	3.575,72	8,16
		*8,5	40,00	53,53	81	92	32061	207	1.661,06	1.953,34	3.614,40	8,25
2	40	6	75,00	78,20	84	94	60463	552	3.132,57	5.218,67	8.351,24	19,07
		8,5	50,00	87,80	79	93	64802	418	3.357,37	3.948,13	7.305,50	16,68
		*8,5	75,00	60,99	76	93	67523	435	3.498,37	4.113,93	7.612,29	17,38
2	60	6	100,00	93,41	79	93	96638	883	5.006,81	8.341,04	13.347,85	30,47
		8,5	75,00	86,50	81	93	95416	615	4.943,51	5.813,35	10.756,86	24,56
		*8,5	100,00	66,35	79	93	97943	631	5.074,41	5.967,29	11.041,69	25,21
5	20	6	100,00	74,91	82	94	76959	703	3.987,22	6.642,47	10.629,69	9,71
		8,5	75,00	88,56	66	94	97007	625	5.025,96	5.910,31	10.936,27	9,99
		*8,5	100,00	66,42	66	94	97007	625	5.025,96	5.910,31	10.936,27	9,99
5	40	6	175,00	88,29	80	95	157081	1435	8.138,37	13.558,03	21.696,40	19,81
		8,5	125,00	82,51	85	94	149568	964	7.749,10	9.112,61	16.861,71	15,40
		*8,5	175,00	71,04	70	95	179041	1154	9.276,12	10.908,32	20.184,44	18,43
5	60	6	250,00	87,35	85	95	221239	2020	11.462,40	19.095,67	30.558,08	27,91
		8,5	175,00	91,20	82	95	229868	1482	11.909,45	14.005,00	25.914,45	23,67
		*8,5	250,00	63,84	82	95	230668	1487	11.950,90	14.053,75	26.004,66	23,75

Continua...

Quadro 4B, cont.

Lâmina de Irrigação mm.dia ⁻¹	Pressão mca	Jornada h	Potência do Motor cv	Índice de Carga %	Rend. da Bomba %	Rend. do Motor %	Energia kWh.ano ⁻¹	Demanda kW	Gasto Energia R\$.ano ⁻¹	Gasto Demanda R\$.ano ⁻¹	Gasto Total R\$.ano ⁻¹	Custo da Água R\$/1.000m ³
7	20	6	125,00	83,00	83	95	105836	967	5.483,36	9.134,94	14.618,30	9,54
		8,5	100,00	74,30	82	94	108136	697	5.602,51	6.588,31	12.190,82	7,95
		*8,5	125,00	59,44	82	93	109285	704	5.662,05	6.658,33	12.320,38	8,04
7	40	6	250,00	87,51	79	96	220886	2017	11.444,12	19.065,22	30.509,34	19,90
		8,5	175,00	87,36	80	95	220956	1424	11.447,71	13.462,02	24.909,73	16,25
		*8,5	250,00	61,16	80	95	220956	1424	11.447,71	13.462,02	24.909,73	16,25
7	60	6	350,00	85,34	87	96	301556	2754	15.623,60	26.027,98	41.651,58	27,17
		8,5	250,00	86,22	85	96	308304	1987	15.973,25	18.783,86	34.757,10	22,67
		*8,5	350,00	63,38	83	95	320586	2067	16.609,58	19.532,16	36.141,75	23,58

(*) O sistema de bombeamento mantém o mesmo usado para 6 h, variando a vazão para o período de 8,5 h.

APÊNDICE C

Índice econômicos para motores

Quadro 1C – Índices econômicos para motores de alto rendimento (AR) em relação aos motores convencionais (CO), para área de 5 ha, com taxas de juros de 8%, aumento da energia 2% acima da inflação, manutenção de 1% e um horizonte de planejamento para 10 anos

Horas Anuais	Potência do Motor	Gastos Anuais com Energia Elétrica (consumo e demanda)		Preço do Motor		TIR	VPL	RBC	TRC
		AR	CO	AR	CO				
		cv	R\$.ano ⁻¹	R\$.ano ⁻¹	R\$				
196 kPa (20 mca)									
500	12,5	1.163,79	1.189,82	1.498,96	1.199,16	-2	-127,3	0,4	-
1.000	6,0	674,59	692,94	894,56	748,02	5	-20,5	0,1	7
1.500	5,0	564,94	584,71	773,41	617,26	5	-20,4	0,1	7
2.000	4,0	473,92	498,57	725,41	583,94	13	31,5	0,2	5
2.500	3,0	432,56	442,84	559,68	454,66	0	-36,0	0,3	-
3.000	3,0	423,22	442,07	489,66	430,64	31	76,5	1,3	3
3.500	3,0	381,32	398,23	559,68	454,66	11	13,1	0,1	6
4.000	2,0	357,39	363,10	470,40	393,30	-5	-40,0	0,5	-
4.500	1,5	292,25	308,40	368,08	321,86	34	70,2	1,5	2
5.000	1,5	289,84	307,16	368,08	321,86	37	78,9	1,7	2
294 kPa (30 mca)									
500	20,0	1.705,44	1.743,03	2.122,02	1.830,08	5	-33,4	0,1	7
1.000	10,0	983,46	1.009,29	1.233,39	1.025,50	5	-30,7	0,1	7
1.500	7,5	787,96	802,98	971,10	773,80	-5	-99,4	0,5	-
2.000	5,0	690,88	704,21	734,52	602,56	0	-42,2	0,3	9
2.500	5,0	614,82	633,94	773,41	617,26	4	-25,1	0,2	8
3.000	4,0	587,22	608,18	608,40	477,92	11	15,9	0,1	6
3.500	4,0	567,85	583,53	608,40	477,92	4	-23,1	0,2	8
4.000	3,0	520,84	537,42	559,68	454,66	10	10,7	0,1	6
4.500	3,0	475,36	494,37	559,68	454,66	14	28,6	0,3	5
5.000	3,0	454,74	471,17	559,68	454,66	10	9,5	0,1	6
392 kPa (40 mca)									
500	25,0	2.218,63	2.258,93	2.691,21	2.127,44	-6	-303,3	0,5	-
1.000	12,5	1.339,89	1.370,31	1.449,60	1.159,70	1	-84,2	0,3	9
1.500	10,0	1.011,16	1.033,78	1.292,86	1.064,10	0	-76,7	0,3	9
2.000	7,5	886,25	906,22	1.047,03	890,22	5	-19,5	0,1	7
2.500	6,0	784,90	812,37	894,56	748,02	14	46,9	0,3	5
3.000	5,0	737,35	754,55	734,52	602,56	6	-13,5	0,1	7
3.500	5,0	707,82	724,31	734,52	602,56	5	-18,8	0,1	7
4.000	4,0	691,77	713,71	608,40	477,92	12	23,1	0,2	5
4.500	4,0	624,93	654,93	725,41	583,94	18	71,1	0,5	4
5.000	3,0	602,44	614,31	559,68	454,66	3	-24,2	0,2	8
490 kPa (50 mca)									
500	30,0	2.772,93	2.803,04	2.833,08	2.280,54	-10	-366,8	0,7	-
1.000	15,0	1.703,17	1.754,53	1.591,68	1.278,92	11	46,4	0,1	6
1.500	12,5	1.342,21	1.377,23	1.498,96	1.199,16	3	-60,7	0,2	8
2.000	10,0	1.150,70	1.181,18	1.233,39	1.025,50	8	3,7	0,0	6
2.500	7,5	1.046,91	1.070,86	971,10	773,80	4	-33,3	0,2	8
3.000	7,5	1.001,29	1.020,37	971,10	773,80	0	-69,3	0,4	-
3.500	6,0	976,12	1.006,48	894,56	748,02	17	68,3	0,5	4
4.000	5,0	847,60	873,86	773,41	617,26	12	27,7	0,2	5
4.500	4,0	777,42	811,49	725,41	583,94	22	101,2	0,7	4
5.000	4,0	735,16	773,41	725,41	583,94	25	132,1	0,9	3

Quadro 2C – Índices econômicos para motores de alto rendimento (AR) em relação aos motores convencionais (CO), para área de 10 ha, com taxas de juros de 8%, aumento da energia 2% acima da inflação, manutenção de 1% e um horizonte de planejamento para 10 anos

Horas Anuais	Potência do Motor	Gastos Anuais com Energia Elétrica (consumo e demanda)		Preço do Motor		TIR	VPL	RBC	TRC
		AR	CO	AR	CO				
		cv	R\$.ano ⁻¹	R\$.ano ⁻¹	R\$				
196 kPa (20 mca)									
500	25,0	2.186,42	2.242,22	2.691,21	2.127,44	0	-188,6	0,3	9
1.000	12,5	1.283,49	1.312,19	1.498,96	1.199,16	-1	-107,5	0,4	
1.500	10,0	943,40	957,52	1.292,86	1.064,10	-8	-139,6	0,6	
2.000	6,0	797,39	822,18	894,56	748,02	12	27,1	0,2	5
2.500	5,0	717,39	736,91	734,52	602,56	9	3,7	0,0	6
3.000	5,0	709,52	734,34	773,41	617,26	10	17,1	0,1	6
3.500	4,0	667,31	699,22	725,41	583,94	20	85,2	0,6	4
4.000	4,0	622,91	655,32	725,41	583,94	20	88,9	0,6	4
4.500	4,0	600,39	629,33	725,41	583,94	17	63,2	0,4	4
5.000	3,0	587,88	604,18	559,68	454,66	10	8,6	0,1	6
294 kPa (30 mca)									
500	40,0	3.248,15	3.318,70	4.643,55	4.071,82	5	-88,0	0,2	7
1.000	20,0	1.874,11	1.922,29	2.122,02	1.830,08	11	45,1	0,2	5
1.500	12,5	1.371,84	1.397,32	1.498,96	1.199,16	-3	-131,4	0,4	
2.000	10,0	1.170,95	1.197,53	1.233,39	1.025,50	5	-25,1	0,1	7
2.500	7,5	1.064,01	1.084,30	971,10	773,80	1	-60,4	0,3	9
3.000	7,5	993,32	1.008,47	971,10	773,80	-5	-98,4	0,5	
3.500	6,0	932,80	972,53	975,24	839,84	28	149,6	1,1	3
4.000	5,0	908,09	929,19	734,52	602,56	10	15,3	0,1	6
4.500	5,0	879,53	900,04	734,52	602,56	10	11,0	0,1	6
5.000	5,0	838,83	864,91	773,41	617,26	11	26,4	0,2	5
392 kPa (40 mca)									
500	50,0	4.460,96	4.525,08	4.906,81	4.305,10	2	-167,5	0,3	9
1.000	25,0	2.446,81	2.491,25	2.691,21	2.127,44	-4	-272,7	0,5	
1.500	20,0	1.847,98	1.903,09	2.073,20	1.883,26	28	205,2	1,1	3
2.000	12,5	1.583,94	1.625,33	1.449,60	1.159,70	8	-3,0	0,0	6
2.500	10,0	1.345,13	1.375,10	1.292,86	1.064,10	6	-22,3	0,1	7
3.000	10,0	1.269,92	1.298,33	1.292,86	1.064,10	5	-33,9	0,1	7
3.500	7,5	1.204,01	1.231,56	1.047,03	890,22	13	36,6	0,2	5
4.000	7,5	1.164,87	1.195,61	1.047,42	891,00	16	60,6	0,4	5
4.500	6,0	1.124,67	1.159,64	894,56	748,02	21	102,5	0,7	4
5.000	6,0	1.074,93	1.108,36	894,56	748,02	20	91,0	0,6	4
490 kPa (50 mca)									
500	60,0	5.603,04	5.704,44	8.214,50	6.903,88	-4	-648,0	0,5	
1.000	30,0	3.069,11	3.091,33	2.833,08	2.280,54	-15	-425,2	0,8	
1.500	20,0	2.299,18	2.376,03	2.073,20	1.883,26	41	366,1	1,9	2
2.000	15,0	2.020,83	2.081,77	1.591,68	1.278,92	15	117,3	0,4	5
2.500	15,0	1.834,86	1.897,34	1.591,68	1.278,92	16	128,7	0,4	4
3.000	12,5	1.685,69	1.729,68	1.498,96	1.199,16	8	5,6	0,0	6
3.500	10,0	1.507,75	1.541,34	1.292,86	1.064,10	8	4,5	0,0	6
4.000	10,0	1.512,46	1.552,53	1.233,39	1.025,50	15	74,7	0,4	5
4.500	10,0	1.446,36	1.484,96	1.233,39	1.025,50	14	63,9	0,3	5
5.000	7,5	1.428,35	1.461,02	971,10	773,80	11	31,3	0,2	5

APÊNDICE D

Consumo e custo das contas de energia elétrica da EP1

Quadro 1D – Consumo e custo de energia da estação EP1, utilizando valores atuais para os anos de 2000, 2001 e 2002 para tarifa convencional

Ano	Período	MÊS						PREÇO TOTAL - R\$/kWh					CUSTO DA TARIFA (sem ICMS)
			CONSUMO			DEMANDA		CONSUMO			DEMANDA		
			Na ponta kWh	Fora da ponta kWh	Reservado kWh	Na ponta kW	Fora da ponta kW	Na ponta kWh	Fora da ponta kWh	Reservado kWh	Na ponta kW	Fora da ponta kW	
ANO 2000	Úmido	Janeiro	21,0	20.043	-	5,0	275,0	2,62	2.502,17	-	42,65	2.345,75	4.893,19
		Fevereiro	-	11.592	-	-	258,0	-	1.447,15	-	-	2.200,74	3.647,89
		Março	3,0	29.286	-	3,0	314,0	0,37	3.656,06	-	25,59	2.678,42	6.360,45
		Abril	-	59.553	-	-	354,0	-	7.434,60	-	-	3.019,62	10.454,22
	Seco	Maio	185,0	44.640	-	5,0	349,0	23,10	5.572,86	-	42,65	2.976,97	8.615,57
		Junho	263,0	87.651	-	5,0	442,0	32,83	10.942,35	-	42,65	3.770,26	14.788,09
		Julho	270,0	79.722	720	5,0	442,0	33,71	9.952,49	89,88	42,65	3.770,26	13.889,00
		Agosto	213,0	83.088	25.209	5,0	476,0	26,59	10.372,71	3.147,09	42,65	4.060,28	17.649,32
		Setembro	39,0	104.346	-	-	476,0	4,87	13.026,55	-	-	4.060,28	17.091,70
		Outubro	239,9	93.717	41.022	-	553,4	29,95	11.699,63	5.121,19	-	4.720,08	21.570,85
		Novembro	61,8	39.591	5.706	-	333,4	7,72	4.942,54	712,34	-	2.843,56	8.506,16
	Úmido	Dezembro	0,2	19.296	90	-	391,3	0,02	2.408,91	11,24	-	3.337,96	5.758,13

Continua...

Quadro 1D, cont.

ANO 2001	Úmido	Janeiro	-	29.133	3.753	-	394,7	-	3.636,96	468,52	-	3.366,45	7.471,94	
		Fevereiro	-	63.702	10.170	-	422,6	-	7.952,56	1.269,62	-	3.605,12	12.827,30	
		Março	-	30.339	3.960	-	404,6	-	3.787,52	494,37	-	3.451,58	7.733,47	
		Abril	-	77.193	2.106	-	457,2	-	9.636,77	262,91	-	3.899,92	13.799,60	
	Seco	Maio	106,7	97.299	9.909	-	472,7	13,33	12.146,81	1.237,04	-	4.031,96	17.429,13	
		Junho	288,7	104.076	29.331	-	484,9	36,04	12.992,85	3.661,68	-	4.136,37	20.826,94	
		Julho	361,9	86.148	31.671	-	496,8	45,18	10.754,72	3.953,81	-	4.237,70	18.991,41	
		Agosto	280,4	72.738	30.420	-	478,8	35,00	9.080,61	3.797,63	-	4.084,16	16.997,41	
		Setembro	210,2	88.119	38.340	-	483,8	26,24	11.000,78	4.786,37	-	4.127,16	19.940,53	
		Outubro	76,1	29.304	13.005	-	472,0	9,51	3.658,31	1.623,54	-	4.025,82	9.317,18	
		Novembro	412,2	112.032	25.128	-	450,7	51,46	13.986,07	3.136,98	-	3.844,64	21.019,16	
	ANO 2002	Úmido	Dezembro	285,5	56.088	12.420	-	417,6	35,64	7.002,03	1.550,51	-	3.562,13	12.150,31
			Janeiro	184,3	17.604	3.240		124,8	23,01	2.197,68	404,48	-	1.064,54	3.689,72
Fevereiro			197,3	19.332	504		260,6	24,63	2.413,41	62,92	-	2.223,26	4.724,21	
Março			282,2	66.492	756		393,1	35,23	8.300,86	94,38	-	3.353,31	11.783,79	
Abril			297,4	60.084	828		388,8	37,12	7.500,89	103,37	-	3.316,46	10.957,84	
TOTAL MÉDIA			4.278,8	1.682.208	288.288	28,0	11.267,9	534,2	210.006,8	35.989,9	238,8	96.114,8	342.884,49	

Quadro 2D – Consumo e custo de energia da estação EP1, utilizando valores atuais para os anos de 2000, 2001 e 2002 para tarifa azul

Ano	Período	MÊS						PREÇO TOTAL - R\$/kWh					CUSTO DA TARIFA (sem ICMS)
			CONSUMO			DEMANDA		CONSUMO			DEMANDA		
			Na ponta kWh	Fora da ponta kWh	Reservado kWh	Na ponta kW	Fora da ponta kW	Na ponta kWh	Fora da ponta kWh	Reservado kWh	Na ponta kW	Fora da ponta kW	
ANO 2000	Úmido	Janeiro	21,0	20.043	-	5,0	275,0	2,87	1.244,47	-	112,55	2.059,75	3.419,64
		Fevereiro	-	11.592	-	-	258,0	-	719,75	-	-	1.932,42	2.652,17
		Março	3,0	29.286	-	3,0	314,0	0,41	1.818,37	-	67,53	2.351,86	4.238,17
		Abril	-	59.553	-	-	354,0	-	3.697,65	-	-	2.651,46	6.349,11
	Seco	Maio	185,0	44.640	-	5,0	349,0	27,34	3.135,51	-	112,55	2.614,01	5.889,41
		Junho	263,0	87.651	-	5,0	442,0	38,86	6.156,61	-	112,55	3.310,58	9.618,60
		Julho	270,0	79.722	720	5,0	442,0	39,90	5.599,67	50,57	112,55	3.310,58	9.113,27
		Agosto	213,0	83.088	25.209	5,0	476,0	31,47	5.836,10	1.770,68	112,55	3.565,24	11.316,04
		Setembro	39,0	104.346	-	-	476,0	5,76	7.329,26	-	-	3.565,24	10.900,27
		Outubro	239,9	93.717	41.022	-	553,4	35,45	6.582,68	2.881,39	-	4.144,59	13.644,11
		Novembro	61,8	39.591	5.706	-	333,4	9,14	2.780,87	400,79	-	2.496,87	5.687,66
	Úmido	Dezembro	0,2	19.296	90	-	391,3	0,02	1.198,09	5,59	-	2.930,99	4.134,69

Continua...

Quadro 2D, cont.

ANO 2001	Úmido	Janeiro	-	29.133	3.753	-	394,7	-	1.808,87	233,02	-	2.956,00	4.997,90
		Fevereiro	-	63.702	10.170	-	422,6	-	3.955,26	631,46	-	3.165,57	7.752,29
		Março	-	30.339	3.960	-	404,6	-	1.883,75	245,88	-	3.030,75	5.160,38
		Abril	-	77.193	2.106	-	457,2	-	4.792,91	130,76	-	3.424,43	8.348,10
	Seco	Maio	106,7	97.299	9.909	-	472,7	15,77	6.834,28	696,01	-	3.540,37	11.086,44
		Junho	288,7	104.076	29.331	-	484,9	42,66	7.310,30	2.060,21	-	3.632,05	13.045,22
		Julho	361,9	86.148	31.671	-	496,8	53,47	6.051,04	2.224,57	-	3.721,03	12.050,11
		Agosto	280,4	72.738	30.420	-	478,8	41,42	5.109,12	2.136,70	-	3.586,21	10.873,45
		Setembro	210,2	88.119	38.340	-	483,8	31,05	6.189,48	2.693,00	-	3.623,96	12.537,49
		Outubro	76,1	29.304	13.005	-	472,0	11,25	2.058,31	913,47	-	3.534,98	6.518,02
		Novembro	412,2	112.032	25.128	-	450,7	60,91	7.869,13	1.764,99	-	3.375,89	13.070,92
	ANO 2002	Úmido	Dezembro	285,5	56.088	12.420	-	417,6	39,04	3.482,50	771,16	-	3.127,82
Janeiro			184,3	17.604	3.240		124,8	25,21	1.093,03	201,17	-	934,75	2.254,16
Fevereiro			197,3	19.332	504		260,6	26,98	1.200,32	31,29	-	1.952,19	3.210,79
Março			282,2	66.492	756		393,1	38,60	4.128,49	46,94	-	2.944,47	7.158,50
		Abril	297,4	60.084	828		388,8	40,67	3.730,62	51,41	-	2.912,11	6.734,81
TOTAL MÉDIA			4.278,8	1.682.208	288.288	28,0	11.267,9	618,3	113.596,4	19.941,1	630,3	84.396,20	219.182,23

Quadro 3D – Consumo e custo de energia da estação EP1, utilizando valores atuais para os anos de 2000, 2001 e 2002 para tarifa verde

Ano	Período	MÊS						PREÇO TOTAL - R\$/kWh					CUSTO DA TARIFA (sem ICMS)
			CONSUMO			DEMANDA		CONSUMO			DEMANDA		
			Na ponta kWh	Fora da ponta kWh	Reservado kWh	Na ponta kW	Fora da ponta kW	Na ponta kWh	Fora da ponta kWh	Reservado kWh	Na ponta kW	Fora da ponta kW	
ANO 2000	Úmido	Janeiro	21,0	20.043	-	5,0	275,0	13,81	1.244,47	-	37,45	2.059,75	3.355,48
		Fevereiro	-	11.592	-	-	258,0	-	719,75	-	-	1.932,42	2.652,17
		Março	3,0	29.286	-	3,0	314,0	1,97	1.818,37	-	22,47	2.351,86	4.194,67
		Abril	-	59.553	-	-	354,0	-	3.697,65	-	-	2.651,46	6.349,11
	Seco	Maio	185,0	44.640	-	5,0	349,0	123,71	3.135,51	-	37,45	2.614,01	5.910,68
		Junho	263,0	87.651	-	5,0	442,0	175,86	6.156,61	-	37,45	3.310,58	9.680,50
		Julho	270,0	79.722	720	5,0	442,0	180,54	5.599,67	50,57	37,45	3.310,58	9.178,82
		Agosto	213,0	83.088	25.209	5,0	476,0	142,43	5.836,10	1.770,68	37,45	3.565,24	11.351,90
		Setembro	39,0	104.346	-	-	476,0	26,08	7.329,26	-	-	3.565,24	10.920,58
		Outubro	239,9	93.717	41.022	-	553,4	160,44	6.582,68	2.881,39	-	4.144,59	13.769,10
		Novembro	61,8	39.591	5.706	-	333,4	41,34	2.780,87	400,79	-	2.496,87	5.719,87
	Úmido	Dezembro	0,2	19.296	90	-	391,3	0,12	1.198,09	5,59	-	2.930,99	4.134,78

Continua...

Quadro 3D, cont.

ANO 2001	Úmido	Janeiro	-	29.133	3.753	-	394,7	-	1.808,87	233,02	-	2.956,00	4.997,90
		Fevereiro	-	63.702	10.170	-	422,6	-	3.955,26	631,46	-	3.165,57	7.752,29
		Março	-	30.339	3.960	-	404,6	-	1.883,75	245,88	-	3.030,45	5.160,08
		Abril	-	77.193	2.106	-	457,2	-	4.792,91	130,76	-	3.424,43	8.348,10
	Seco	Maio	106,7	97.299	9.909	-	472,7	71,37	6.834,28	696,01	-	3.540,37	11.142,04
		Junho	288,7	104.076	29.331	-	484,9	193,06	7.310,30	2.060,21	-	3.632,05	13.195,62
		Julho	361,9	86.148	31.671	-	496,8	241,99	6.051,04	2.224,57	-	3.721,03	12.238,63
		Agosto	280,4	72.738	30.420	-	478,8	187,46	5.109,12	2.136,70	-	3.586,21	11.019,49
		Setembro	210,2	88.119	38.340	-	483,8	140,52	6.189,48	2.693,00	-	3.623,96	12.646,96
		Outubro	76,1	29.304	13.005	-	472,0	50,91	2.058,31	913,47	-	3.534,98	6.557,68
	Novembro	412,2	112.032	25.128	-	450,7	275,63	7.869,13	1.764,99	-	3.375,89	13.285,64	
	ANO 2002	Úmido	Dezembro	285,5	56.088	12.420	-	417,6	187,76	3.482,50	771,16	-	3.127,82
Janeiro			184,3	17.604	3.240		124,8	121,23	1.093,03	201,17	-	934,75	2.350,18
Fevereiro			197,3	19.332	504		260,6	129,75	1.200,32	31,29	-	1.952,19	3.313,56
Março			282,2	66.492	756		393,1	185,63	4.128,49	46,94	-	2.944,47	7.305,52
		Abril	297,4	60.084	828		388,8	195,57	3.730,62	51,41	-	2.912,11	6.889,71
TOTAL MÉDIA			4.278,8	1.682.208	288.288	28,0	11.267,8	2.847,2	113.596,4	19.941,1	209,7	84.395,9	220.990,30