

DENILSON EDUARDO RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CINCO MARCAS DE
DESINTEGRADOR / PICADOR / MOEDOR (DPM) NA MOAGEM DO MILHO**

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
2000

Aos meus pais.
Aos meus irmãos.
Aos amigos.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola e ao Departamento de Física, pela oportunidade e pelos ensinamentos.

Ao Professor Gutemberg Pereira Dias, pela segura orientação, pelos conhecimentos transmitidos e pela amizade.

Aos Professores Alexandre e Haroldo da UFV, pela amizade e pelo apoio.

Aos colegas da Pós-graduação e aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola e do Departamento de Física.

Em especial, a todos os funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pela colaboração, pela amizade e pelo apoio.

Ao estagiário Roberto do Laboratório de Mecanização Agrícola.

Aos amigos Margarida, Carlão, Carla, Delton, pela amizade, e especialmente à Cida, pela compreensão e pelas alegrias.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

DENILSON EDUARDO RODRIGUES, filho de Sebastião Rodrigues e Terezinha da Silva Rodrigues, nasceu em Viçosa – MG, em 24 de março de 1968.

Cursou o primeiro grau em sua cidade natal e o técnico em eletrônica em Belo Horizonte, MG.

Em 1989, ingressou na Universidade Federal de Viçosa (UFV), no curso de Engenharia Agrícola, onde se graduou em julho de 1994.

Desde de 1995 é funcionário concursado do Departamento de Física da UFV.

Em julho de 1997, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Nível de Mestrado em Engenharia Agrícola, na UFV, concentrado seus estudos na área de Mecanização Agrícola.

CONTEÚDO

	Pag.
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Aspectos gerais.....	3
2.2. O equipamento.....	3
2.3. Bancada de ensaios.....	5
2.4. Módulo de finura.....	6
2.5. Diâmetro médio.....	7
2.6. Efeito da granulometria na ração de diversos animais.....	7
2.6.1. Aves.....	7
2.6.2. Suínos.....	8
2.6.3. Bovinos.....	8
2.7. Nível de ruído.....	9
2.8. Desgaste dos martelos.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Características técnicas das máquinas e dos equipamentos.....	13
3.2. Características dos grãos.....	14
3.3. Metodologia para avaliação do desempenho.....	14

3.3.1. Demanda de potência.....	16
3.3.2. Capacidade de processamento.....	18
3.3.3. Consumo específico.....	18
3.3.4. Distribuição granulométrica.....	18
3.3.5. Módulo de finura.....	19
3.3.6. Ruído no posto de trabalho.....	19
3.3.7. Desgastes dos martelos.....	19
3.3.8. Vazamento, formação de pó e segurança	20
3.4. Análise dos dados.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. Características.....	21
4.2. Características das máquinas.....	21
4.3. Modulo de finura e diâmetro médio.....	23
4.4. Avaliação do desempenho.....	25
4.5. Capacidade máxima de processamento.....	26
4.6. Demanda de potência.....	27
4.7. Consumo específico.....	29
4.8. Peneira de 0,8 mm.....	30
4.9. Peneira de 3 mm.....	34
4.10. Peneira de 5 mm.....	36
4.11. Peneira de 10 mm.....	37
4.12. Capacidade de processamento na rotação nominal.....	37
4.12.1. Peneira de 3 mm.....	37
4.12.2. Peneira de 5 mm.....	40
4.13. Recomendações de peneiras para fabricação de ração.....	41
4.14. Nível de ruído.....	42
4.15. Desgaste dos martelos.....	43
4.16. Segurança.....	44
5. RESUMO E CONCLUSÕES	45
6. RECOMENDAÇÕES.	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
APÊNDICE A.....	51

RESUMO

RODRIGUES, Denilson Eduardo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2000. **Avaliação do desempenho de cinco marcas de desintegrador / picador / moedor (DPM) na moagem de milho.** Orientador: Gutemberg Pereira Dias. Conselheiros: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho e Haroldo Carlos Fernandes

A maioria dos alimentos que compõem a ração dos animais em uma propriedade agrícola deve ser desintegrada, picada ou moída, utilizando-se equipamentos próprios, entre eles os denominados DPM (Desintegrador/Picador/Moedor). O objetivo deste trabalho consistiu então na avaliação comparativa do desempenho de cinco marcas comerciais deste tipo de equipamento. Avaliaram-se a demanda de potência, a capacidade de processamento, o consumo específico de energia, a distribuição granulométrica do produto moído pelo DPM e o nível de ruído no posto de trabalho. Durante os testes, também foram observados aspectos relacionados à segurança operacional, ergonomia, vazamentos e contaminação do ambiente com pó do produto em suspensão. Para avaliar o desempenho de cada moedor, o consumo específico foi calculado com cinco velocidades angulares distintas, e com quadro diferentes taxas de processamento. Foram determinados os consumos específicos das quatro peneiras (0,8; 3; 5; e 10

mm) que acompanham os equipamentos. Foram observados uma baixa capacidade de processamento e alto consumo específico de energia para peneira 0,8 mm, recomendada para a produção de fubá, sendo sugerida sua substituição pela de 3 mm, que apresenta distribuição granulométria semelhante à encontrada no fubá comercializado no mercado local. A máquina 4 apresentou o menor consumo específico de energia para peneira 3 mm e as peneiras de 5 e 10 mm não apresentaram diferenças significativas entre si. O nível de ruído medido durante os ensaios em todas as máquinas esteve bem acima do limite de 85 dB(A), recomendado pelo Ministério do Trabalho. As máquinas avaliadas não tinham dispositivos de proteção e paras as correias de acionamento e a bica de alimentação.

ABSTRACT

RODRIGUES, Denilson Eduardo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July 2000. **Performance Evaluation of five marks disintegrator / chopper / grinder (DPM) corn grinders.** Adviser: Gutemberg Pereira Dias. Committee Members: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho and Haroldo Carlos Fernandes

Most components of animal ration in a farm must be disintegrated, chopped or crushed, with adequate equipment, among them the ones designated DPM (disintegrator/chopper/grinder). The objective of this work was to compare the performance of five corn grinders. It was evaluate the power demand, processing capacity, specific energy consumption, granulometric distribution of the product output by the machine and noise at work place. During the tests, aspects related to operational safety, ergonomics, leaks and environmental contamination by the product dust in suspension were also observed. The specific consumption was measured in five different angular speeds and with four different processing rates. The specific consumption of four sieves (0.8; 3; 5 and 10 mm) were determined. It was observed a low processing capacity and a high specific consumption of energy for sieve 0.8 mm, recommended for corn flour production, suggesting its replacement to for the 3 mm sieve, which presents a similar granulometric distribution to the one

found in the local market commercialized flour. Machine 4 presented the smallest energy specific consumption for sieve 3mm, and sieves 5 and 10 mm were not different to each other. The level of measured noise during the assays in all machines was well above the limit of 85 dB(A), recommended by the Ministry of Labour. The tested machines did not present protection devices for the driving belts and for the feeding spout.

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos alimentos que compõem a ração dos animais em uma propriedade agrícola deve ser desintegrada, picada ou moída, sendo necessário o uso de equipamentos próprios, entre eles os denominados DPM - Desintegrador/Picador/Moedor. Grande parte destes equipamentos é acionada por motores elétricos, os quais, no entanto, nem sempre são dimensionados de maneira adequada, resultando em incremento no consumo de energia. Nos dias atuais, face aos problemas referentes à demanda de energia elétrica e à escassez de investimentos na área de geração, torna-se inevitável racionalizar o uso desta forma de energia, procurando-se evitar que, com o aumento da demanda (maior número de usuários, equipamentos eletorrurais e eletrodomésticos), em um futuro próximo, haja risco de colapso no sistema de fornecimento de energia.

Para o produtor rural, a utilização correta desses equipamentos pode resultar não só em redução no consumo de energia, mas também em diminuição no custo operacional anual. Em virtude de grande número de fabricantes de DPM constituir-se de pequenas fábricas sem setor de pesquisa e desenvolvimento, o esforço no sentido de aumentar a eficiência energética destas máquinas deve ser feito pelo setor público.

Além do esforço no sentido de aumentar a eficiência dos equipamentos eletorrurais, sabe-se também que, no processo de moagem de

grãos para a produção de farelo, é importante observar o tamanho das partículas constituintes do produto final, uma vez que este fator interfere na conversão alimentar de diversos animais criados para fins comerciais.

Outro parâmetro que deve ser observado na operação do DPM é o nível de ruído gerado pelos equipamentos a serem testados, uma vez que podem causar hipoacusia no operador.

A preocupação com a redução do consumo de energia elétrica e a eficiência dos diversos equipamentos disponíveis no mercado nacional levou instituições como Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Alemã de Cooperação Técnica (GTZ), Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural - MG (EMATER) e Universidade Federal de Viçosa (UFV) a promoverem um programa de avaliação de desempenho de equipamentos eletrorurais, no qual este trabalho está inserido.

Este trabalho visou, portanto, avaliar o desempenho comparativo de cinco moedores de milho.

Como objetivos específicos, buscou-se avaliar a demanda de potência, a capacidade de processamento, o consumo específico de energia, a distribuição granulométrica do produto triturado pelo moedor, o desgaste dos martelos e o nível de ruído no posto de trabalho do operador da máquina.

Além disso, procurou-se observar, durante os testes, aspectos relacionados à segurança operacional, ergonomia, vazamentos e contaminação do ambiente com o pó do produto em suspensão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais

De acordo com MIALHE (1987), a avaliação de desempenho de máquinas agrícolas trata da caracterização e do julgamento de atributos, reflexo do conhecimento dos parâmetros científicos e tecnológicos implícitos no projeto e na construção, em função da missão que deve cumprir no processo de produção agropecuária ou florestal.

Segundo HENDERSON e PERRY (1976), o desempenho de uma máquina de moagem é caracterizado pela capacidade de produção, pela potência requerida por unidade do produto produzido, pela forma e pelo tamanho do produto antes e após do processo de moagem.

2.2. O equipamento

Segundo HALL e ARANGO (1968), em geral, os equipamentos utilizados para a moagem são classificados em quatro tipos: moinhos de discos, moinhos de martelos, moinhos de rolos e moinhos combinados.

As principais partes do DPM responsáveis pela moagem de grãos, a seguir denominados de moinhos de martelos, representados na Figura 1, são os martelos fixos ou oscilantes montados sobre um eixo de rotação, a peneira, o ventilador transportador e o ciclone para separação e recepção do produto. Os martelos têm uma separação de 2,5 a 7,5 cm entre si e giram de 2.500 a 4.000 rpm, dependendo do diâmetro do rotor. A velocidade periférica dos martelos varia entre 75 e 100 ms^{-1} . A taxa de alimentação pode ser controlada por comportas deslizantes. A peneira pela qual passa o produto moído é disposta ao redor do martelos. O produto processado permanece na câmara de moagem até que se reduzam as partículas suficientemente pequenas capazes de atravessar os crivos da peneira. Os martelos podem ser invertidos, quando sua superfície apresentar desgastes mecânicos, ou também podem ter suas pontas substituídas por outras novas, quando preciso. O produto, à medida que é moído, passa pela peneira, e uma corrente de ar produzida por um sistema de ventilação transporta o produto até um separador (ciclone), de onde passa para um silo ou um saco.

O moinho de martelos apresenta diversas particularidades: adapta-se particularmente bem para moagem média e fina; a alta velocidade de trabalho dos martelos é ideal para a conexão direta com o motor elétrico; materiais estranhos, como pedras ou pedaços de metal, não causam maiores danos, quando comparado ao moinho de disco; e a finura de moagem depende do tamanho dos crivos da peneira e da velocidade dos martelos.

A capacidade do moinho depende do tipo de grão, da finura desejada, da potência disponível, da velocidade do rotor e da umidade do produto.

A redução de tamanho é atribuída à explosão, devido ao alto impacto com os martelos, e a cortes provocados pelas bordas dos martelos.

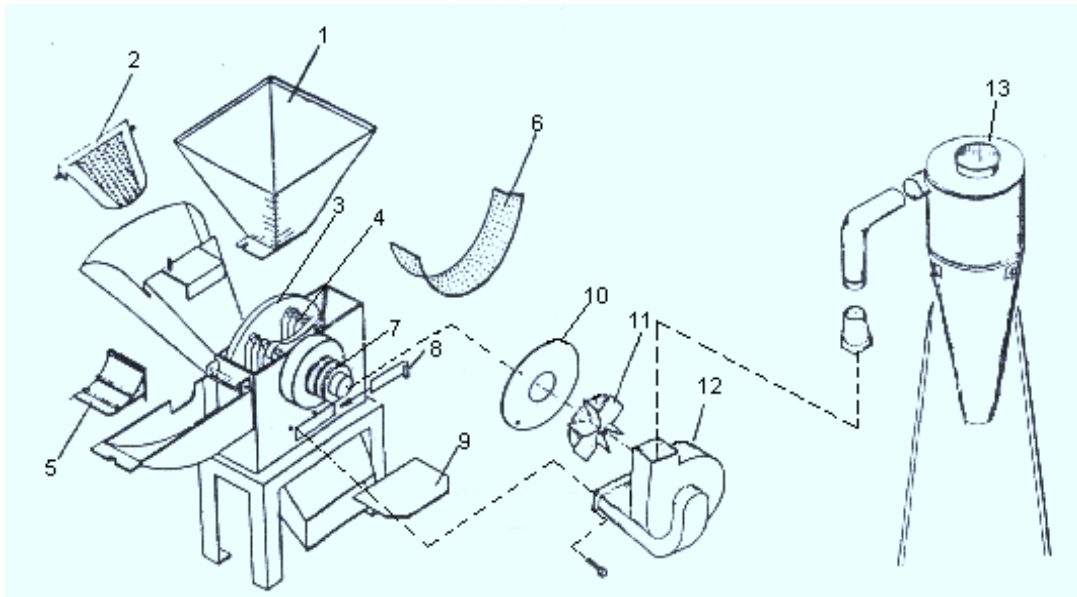


Figura 1 - Principais componentes do DPM na função de moagem: 1 - moega, 2 - protetor, 3 - rotor, 4 - martelos, 5 - tampa, 6 - peneira, 7 - polia, 8 - registro, 9 - registro inferior, 10 - tampa, 11 - ventilador, 12 - alojamento do ventilador e 13 - ciclone.

2.3. Bancada de ensaio

DIAS et al. (1998) montaram uma bancada para avaliação do desempenho de máquinas agrícolas, que consta de um sistema de aquisição de dados computadorizados e sensores apropriados que permitem monitorar as seguintes grandezas:

- Tensão e corrente elétrica no motor, bem como a defasagem tensão/corrente
- Torque, velocidade angular e temperatura em pontos da máquina e do motor

A estrutura física da bancada foi planejada de forma a permitir a transmissão de força motriz eixo-a-eixo por elementos flexíveis, possibilitando a quantificação de perdas de energia, e identificar meios capazes de elevar a eficiência do desempenho mecânico, entre o motor e a máquina, com uso de transmissões alternativas. Um torquímetro foi instalado entre o motor de acionamento e a polia que transfere a potência à máquina. Esse torquímetro foi posicionado sobre uma plataforma metálica, com liberdade de deslocamento ao longo de um plano inclinado, que permite o acoplamento

eixo-a-eixo a qualquer tipo de máquina, mesmo a alturas diferentes. O torquímetro ficou posicionado entre duas árvores de transmissão, cada uma dotada de dois mancais de rolamento, posicionados de forma a evitar esforços de flexão na árvore do torquímetro.

Um sensor magnético de proximidade foi posicionado junto à árvore intermediária, sendo responsável pela geração de pulsos, de acordo com o giro do árvore. Os pulsos eram lidos pelo sistema de aquisição de dados e convertidos em velocidade angular por intermédio do próprio programa computacional (spider 8).

2.4. Módulo de finura

Um dos parâmetros recomendados (HENDERSON e PERRY, 1976) para caracterização da uniformidade do tamanho das partículas do material moído é denominado “módulo de finura” (FM).

Para determinação do módulo de finura, é necessário colocar uma amostra do material a ser analisado na parte superior de uma série de peneiras (3/8, 4, 8, 14, 28, 48, 100 mesh) e, após, efetuar a agitação. Posteriormente, pesa-se o material retido em cada peneira. O peso do material moído retido em cada peneira é multiplicado por um fator (n) correspondente a cada peneira e, então, feito o somatório dos resultados obtidos, que é dividido pelo peso total da amostra, conforme estabelecido pela AMERICAM SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE (1993).

$$FM = \Sigma(p n)/100 \quad (1)$$

em que

FM - modulo de finura;

p - porcentagem em peso retido em cada peneira; e

n - o fator multiplicativo de peneiras usadas para classificar o material triturado (n=0 para fundo, n=1 para peneira de 100 mesh, n=2 para 48

mesh, n=3 para 28 mesh, n=4 para 14 mesh, n=5 para 8 mesh, n=6 para 4 mesh e n=7 para 3/8" mesh).

FENTON e LOGAN (1931), analisando o efeito da velocidade periférica na distribuição granulométrica, concluíram que, nas menores velocidades periféricas, o módulo de finura dos grãos foi maior.

2.5. Diâmetro médio

Segundo HENDERSON e PERRY (1976), o diâmetro médio das partículas do material triturado pode ser calculado pela fórmula:

$$D=0,10414 (2)^{FM} \quad (2)$$

em que

D - diâmetro médio (mm); e

FM - módulo de finura.

2.6. Efeito da granulometria na ração de diversos animais

2.6.1. Aves

Os ingredientes das rações, principalmente os grãos de cereais, de maneira geral, são processados ou moídos para assegurar que os nutrientes, em especial o amido, sejam disponibilizados mais facilmente para os animais. A moagem também é importante para uniformizar os ingredientes que compõem as rações, uma vez que as aves tendem a consumir seletivamente os ingredientes com partículas maiores.

ZANOTTO et al. (1994) estudaram o efeito do grau de moagem (2,5; 3,5; 4,5; e 10 mm de diâmetro dos furos das peneiras) sobre o valor energético do milho em frango de corte, além de medirem o tempo de moagem e a energia elétrica consumida. Os autores concluíram que o grau de moagem não

influenciou no valor energético do milho, porém, quando aumentaram o grau de moagem de 2,5 para 10 mm, economizaram-se energia elétrica e tempo de moagem.

Segundo KLINGER (1995), a granulometria mais grosseira (peneira 8 e 12 mm) pode ser utilizada desde o primeiro dia de idade, sem que o desempenho final dos frangos de corte seja afetado, além de representar considerável economia de energia e aumento no rendimento industrial da moagem.

2.6.2. Suínos

ZANOTTO et al. (1995) conduziram um experimento para verificar o efeito do grau de moagem do milho com diâmetros médios das partículas de 0,509; 0,645; 0,799; e 1,026 mm sobre a digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. Os autores observaram que, com o aumento no diâmetro médio das partículas, a digestibilidade das dietas reduziu linearmente, ou seja, a digestibilidade das dietas e o desempenho dos suínos melhoraram com a diminuição do FM ou do diâmetro médio das partículas do milho e do sorgo. Para o milho, os melhores resultados parecem ocorrer quando FM está entre 2,29 e 2,63 e o diâmetro médio, entre 0,50 e 0,65 mm (peneira 2,5 a 4 mm).

2.6.3. Bovinos

Segundo JARDIM (1976), em rações destinadas a gado bovino, o milho deve ser incluído, de preferência como quirera ou fubá, para evitar desperdícios, pois grãos inteiros não são bem digeridos e acarretam perdas da ordem de 20%.

2.7. Nível de ruído

Outro aspecto concernente ao desempenho dos moedores é o nível do ruído. A Legislação Brasileira sobre Atividades e Operações Insalubres, a NR 15 da Portaria 3.214/78 do Ministério do Trabalho (MTb), estabelece que o nível permitido, para 8 horas de exposição diária, é de 85 dB (A) (medida de nível de ruído em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora, operando no circuito de compensação "A") e de 86 dB(A) em jornada de 7 horas de trabalho diárias (SEGURANÇA...,1998).

Segundo DELGADO (1991), no intervalo de 30 a 65 dB(A), os efeitos psíquicos são predominantes, afetando cada indivíduo diferentemente, podendo causar sensações desagradáveis, quando o ruído é produzido de forma contínua. No intervalo de 65 a 85 dB (A), além dos efeitos psíquicos, são produzidos os efeitos físicos, por intermédio do sistema nervoso (aumento da pressão sangüínea e dos batimentos cardíacos).

Quando ultrapassa o nível de 85 dB(A), detectam-se perdas crescentes da percepção auditiva. Estudos mostram que pessoas expostas a 82, 85, 88 e 92 dB(A), em uma jornada diária de trabalho, perdem 2, 5, 10 e 20% da audição, respectivamente.

O descaso no cumprimento da norma acarreta perda de apetite e de sono, *stress*, nervosismo, aumento da pressão arterial e hipoacusia, ocasionando perdas para o empregado e o empregador.

Segundo a NR 15 da Portaria 3.214/78 do MTb, além dos problemas auditivos, existem outros efeitos possíveis que têm potencialidade para provocar alterações em quase todos os aparelhos e órgãos que constituem o nosso organismo. É comum observar que um barulho repentino produz um susto, o que mostra um exemplo da vasta incidência dos efeitos do barulho: os vasos sangüíneos contraem-se, a pressão sangüínea eleva-se, as pupilas dilatam-se e os músculos tornam-se tensos. Estes efeitos "extra-auditivos" podem provocar ações sobre o sistema cardiovascular, alterações endócrinas, desordens físicas e dificuldades mentais e emocionais, entre as quais se

destacam irritabilidade, fadiga e maus ajustamentos, incluindo também a possibilidade de conflitos entre os trabalhadores expostos ao barulho.

Para os fins de aplicação de limites de tolerância, entende-se por ruído contínuo ou intermitente aquele que não seja ruído de impacto.

Os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB), com instrumento de nível de pressão sonora, operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (SLOW). As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador.

Os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder os limites de tolerância, conforme fixados no Quadro 1.

Quadro 1 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

Nível de ruído dB (A)	Máxima exposição diária permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e trinta minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Quando valores intermediários de níveis de ruído são encontrados, considera-se a máxima exposição diária permissível relativa ao nível imediatamente mais elevado.

Não é permitida exposição a níveis de ruído acima de 115 dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos.

As atividades ou operações que expõem os trabalhadores a níveis de ruído, contínuo ou intermitente, superiores a 115 dB(A), sem proteção adequada, oferecem risco grave e iminente.

2.8. Desgaste dos martelos

ROSENBERG (1964) define o desgaste como um fenômeno essencialmente superficial, que consiste na desagregação gradual e mecânica de partes da superfície. O desgaste ocorre pelo deslocamento de partículas metálicas da superfície de metal. Este processo pode ser de metal contra metal e de metal contra não-metal (ou contra sólidos, líquido ou gases). A resistência ao deslocamento de partículas da superfície de metal está condicionada ao tipo de contato, o qual, se for do tipo de metal contra não-metal (desgaste abrasivo), pode ser provocado por deslizamento, rolamento ou choque, conforme a maneira de contato de superfícies. A resistência ao desgaste não é uma característica própria do metal que pode ser considerada por si mesma. Torna-se complexa por muitos fatores e não pode ser determinada separadamente das condições de serviço. É resultante do próprio metal, do material de contato e das condições de operação de serviço. Esta combinação de fatores provoca diferentes tipos de desgastes.

Segundo GENTIL (1970), para aço de dureza baixa e operando com milho em grão, os desgastes em mg de aço por 2 t de produto moído foram: aço SAE5160, 54,7; aço SAE 6150, 66,0; e aço SAE S₁, 46,2. No caso de desgastes de aço de alta dureza, os desgastes em mg por 2 t foram: aço SAE5160, 51,8; aço SAE 1010, 45,4; aço SAE S₁, 45,6; e aço SAE D₂, 44,4.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Ensaio de Equipamentos Eletorrurais do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, no período de 1^o de setembro a 15 de outubro de 1999. Consta da Figura 2 uma vista parcial da unidade de avaliação de desempenho, durante o ensaio de uma das máquinas.

O Laboratório de Ensaio de Equipamentos Eletorrurais foi construído no "Campus" da Universidade Federal de Viçosa - UFV, instituição conveniada com a CEMIG e parceira no empreendimento. O projeto está direcionado, a curto prazo, para avaliar desempenho dos equipamentos utilizados no Projeto Casa de Máquinas, que se caracteriza pela instalação de unidades comunitárias para beneficiamento de produtos agropecuários na área de concessão da CEMIG.



Figura 2 - Unidade de avaliação de desempenho. Vista da sala de controle, aquisição, computador e impressora (superior). Detalhes do eixo intermediário (esquerda). Máquina sendo ensaiada (direita).

3.1. Características técnicas das máquinas e dos equipamentos

Para condução dos testes de avaliação, cinco máquinas novas, de marcas comerciais distintas, foram adquiridas no mercado, sem nenhuma alteração no seu projeto original, conforme modelo da Figura 3. Por não existir regra definida para o ensaio, os nomes dos fabricantes foram preservados e as máquinas, nomeadas apenas por números (máquina 1, máquina 2 etc).

Foram utilizados nos testes motores elétricos monofásicos de 3,75 kW (5 cv), cinco jogos de peneiras de 0,8; 3; 5; e 10 mm para cada DPM, um *datalogger*, um microcomputador e o respectivo programa computacional.



Figura 3 - Exemplo de DPM testado na avaliação.

3.2. Características dos grãos

O produto utilizado foi o milho (*Zea mays L*), proveniente da fábrica de ração da UFV, com umidade conhecida, usando-se para isto o método padrão de estufa (105°C por 24 horas).

3.3. Metodologia para avaliação do desempenho.

A metodologia para realização dos testes e avaliação dos resultados procurou seguir as orientações americanas e alemãs, conforme literatura consultada, sendo, no entanto, estabelecida de forma unilateral pela própria

unidade de avaliação, em razão de ainda não existir uma norma brasileira oficial, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A seguinte combinação de variáveis foi obedecida: cinco velocidades periféricas dos martelos (Quadro 2), quatro taxas de alimentação e quatro peneiras com uso do ciclone. O tempo de trituração para cada teste foi de 10 minutos. A seqüência de utilização das peneiras (0,8; 3; 5; e 10 mm) foi aleatória.

Quadro 2 - Velocidades periféricas dos martelos [m/s]

	Máquinas				
	1	2	3	4	5
V1	43,9	34,9	43,8	38,2	43,8
V2	55,8	44,3	55,6	48,5	55,6
V3	59,9	47,6	59,7	52,1	59,7
V4	68,4	54,3	68,2	59,5	68,2
V5	74,5	59,2	74,3	64,8	74,3

A execução dos teste foi feita da seguinte maneira:

- montagem da máquina a ser ensaiada na banca de testes;
- montagem das polias para a primeira rotação de ensaio;
- sorteio das peneiras a serem instaladas no DPM;
- abastecimento da moega com milho;
- acionamento do motor elétrico;
- acionamento do sistema de aquisição de dados;
- abertura da moega para a primeira taxa de alimentação; o nível de produto na moega era mantido sempre constante; e
- medição do nível de ruído.

Passado o tempo de execução do ensaio, os dados foram arquivados e o farelo produzido, pesado. Em seguida, foi feita outra regulagem na abertura da moega para obter outra taxa de alimentação. Após a pesagem do

farelo produzido pela quarta taxa de alimentação, desligou-se o motor, mudaram-se as polias para a próxima velocidade e realizou-se uma amostragem do farelo produzido. O processo foi repetido para as próximas rotações. Após a última rotação e taxa de alimentação, realizaram-se a limpeza do equipamento e o sorteio da próxima peneira.

3.3.1. Demanda de potência

Para o cálculo da demanda de potência, foi necessário o conhecimento de duas variáveis importantes, o torque e a velocidade angular, relacionados com a potência, por meio da seguinte fórmula:

$$P = T r / 9549 \quad (3)$$

em que

P - potência demandada (kW);

T - torque (mN); e

r - rotações por minuto (rpm).

Para avaliar o torque e a rotação angular demandados pela máquina, foi utilizada a bancada de ensaios, disposta entre o motor de acionamento e a polia que transfere o movimento à máquina, na qual está instalado um torquímetro com capacidade de até 10^3 mN.

Para a medição da velocidade angular, um sensor magnético de proximidade foi posicionado junto à árvore intermediária, e o sistema de aquisição de dados fazia a leitura dos pulsos em uma base de tempo determinada por intermédio do programa computacional, fornecendo por meio de cálculos, o valor da velocidade angular. Este sensor foi escolhido, entre outras razões, pela taxa de geração de pulsos, suficiente para as máquinas agrícolas em questão.

Uma vez conhecidas as relações de transmissão entre as polias, o motor, o eixo intermediário e o eixo intermediário DPM, determinaram-se a energia e potência elétrica desenvolvidas no eixo motriz do DPM. Um sistema de aquisição armazenava os dados e os enviava a um microcomputador, no

qual um programa computacional apropriado possibilitava a visualização gráfica instantânea dos dados (Figura 4).

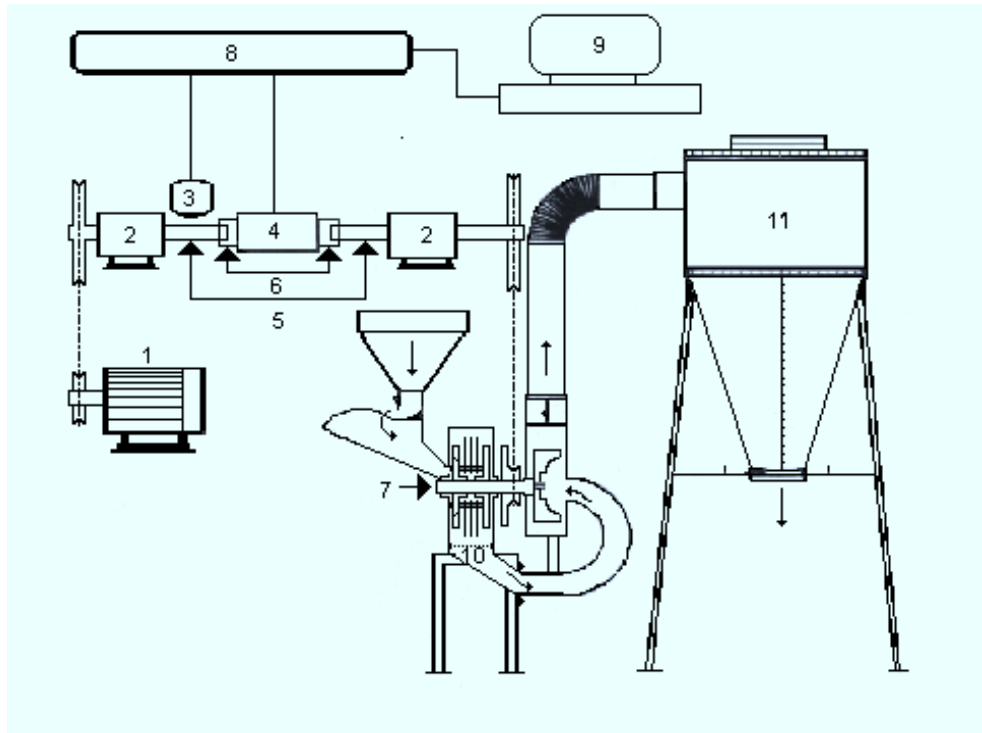


Figura 4 - Desenho esquemático das partes constituintes da bancada de teste: 1-motor; 2-mancais; 3-sensor de rotação; 4-torquímetro; 5-eixos; 6-luvas de acoplamento; 7-eixo do DPM; 8-aquisição de dados; 9-computador; 10-peneira; 11-ciclone.

Ainda na Figura 4, pode-se visualizar a disposição dos equipamentos utilizados nos ensaios e o fluxo do produto processado pelo moinho em suas diversas etapas: moega de armazenamento, bica de alimentação, martelos, peneira sistema de transporte, cilcone e saída do farelo, torquímetro, motor, sensor de rotação, sistema de aquisição de dados e computador.

3.3.2. Capacidade de processamento

Todo material processado foi coletado em um recipiente próprio, colocado na saída do ciclone e levado a uma balança para ser pesado. O tempo gasto no processamento da amostra foi obtido por meio da análise do gráfico gerado pelo sistema de aquisição. Conhecendo-se estes parâmetros, determinou-se a capacidade de processamento (th^{-1}):

$$CP = P_m / t \quad (4)$$

em que

CP - capacidade de processamento (th^{-1});

P_m - peso do material processado (t); e

t - tempo gasto para processamento (h).

3.3.3. Consumo específico

Relacionando-se a capacidade de processamento (th^{-1}) e a potência demandada para o acionamento da máquina, foi possível determinar o consumo específico de energia:

$$C_e = P / CP \quad (5)$$

em que

C_e - consumo específico (kWh^{-1});

P - potência demandada (kW); e

CP - capacidade de processamento (th^{-1}).

3.3.4. Distribuição granulométrica

Para a análise da distribuição granulométrica, após cada peneira ensaiada na bancada de teste, foram retiradas amostras de 200 g.

Seguindo as recomendações da norma ASAE S319.2, a amostra foi colocada na peneira superior (maior abertura) e o conjunto, levado para o peneirador automático, deixando-o vibrar até que não ocorresse variação de peso entre as massas retidas nas peneiras e no fundo. A pesagem das frações retidas em cada peneira foi feita em uma balança de precisão de 0,1 mg e carga máxima de 210 g.

3.3.5. Módulo de finura e diâmetro médio

Com os dados da distribuição granulométrica, foi possível calcular o "Módulo de Finura" (FM), conforme a expressão 1.

Seguindo as recomendações de HENDERSON e PERRY (1976), o diâmetro médio das partículas do material triturado foi calculado por intermédio da expressão 2.

3.3.6. Ruído no posto de trabalho

Foi utilizado um medidor de pressão sonora (decibelímetro), marca MINIPA modelo MSL-13.50, operando no circuito de compensação "A" e no circuito de resposta lenta (SLOW). As leituras do nível de ruído foram feitas próximas ao ouvido do trabalhador.

3.3.7. Desgaste dos martelos

Para realização dos testes de desgaste dos martelos do equipamento a ser ensaiado, foi instalada uma peneira de 0,8 mm, e os martelos foram numerados para identificar sua posição de montagem.

O moedor foi colocado em funcionamento por um período de 100 horas, com paradas programadas a cada 20 horas, para pesagem dos martelos em uma balança de precisão de 0,1 mg e carga máxima de 210 g. O desgaste foi calculado por diferença de peso. Após as 100 horas de funcionamento, calculou-se também o somatório de todo o material processado pelo moinho.

3.3.8. Vazamentos, formação de pó e segurança

Durante os ensaios, foram observados, em áreas específicas da máquina, possíveis vazamentos de farelo. Os pontos de observação escolhidos foram a abertura de alimentação do produto, a tampa superior, a tubulação de condução do farelo e a estrutura do ciclone.

Durante a operação, os detalhes referentes à segurança foram anotados para posteriores análises e comentários. Foi observada a existência de proteção das correias e engrenagens e todos os outros dispositivos de transmissão de potência.

3.4. Análise dos dados

Os resultados foram analisados e os dados de produção e consumo específico, interpretados por intermédio de curvas de regressão, escolhendo-se a função matemática que melhor representasse o desempenho de cada máquina ensaiada. Também foi usado na análise estatística o teste t, para a comparação das médias dos dados coletados, em nível de 5% de probabilidade, para o ensaio na rotação do rotor recomendado pelos fabricantes (REGAZZI, 1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características

Após o recebimento do lote de milho no Laboratório de Ensaio de Eletrorrurais, três amostras foram retiradas e embaladas em filme-plástico. Em seguida, as amostras foram enviadas ao laboratório de armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola, onde, por intermédio do método padrão de estufa, determinou-se o teor de umidade. No Quadro 3, é apresentado o valor médio do teor de umidade.

Quadro 3 - Teor médio de umidade do material usado no ensaio

Material	Milho safra (98/99)
Teor de umidade, bu	11,5 % \pm 1,2 %

4.2. Características das máquinas

Antes do início dos ensaios, foi preenchida uma ficha com os principais dados técnicos referentes ao diversos itens que compõem o conjunto, os números

de martelos e a área das peneiras, total e livre (somatório dos orifícios presentes). Os dados principais estão no Quadro 4 e os dados completos, no Apêndice A.

Quadro 4 - Dados técnicos das máquinas ensaiadas

Parâmetros	Máquinas					
	Un.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Potência nominal	kW	3,75	3,75	3,75	3,75	3,7
Rotação Recomendada	rpm	4000	3800-	3000	3500	360
Conjuntos de martelos		4	2	2	4	4
Número de martelos		20	10	12	20	12
Espessura dos martelos	mm	5,0	4,8	5,0	4,6	4,4
Largura da peneira	mm	120	132	126	120	106
Área total da peneira	mm ²	67200	62040	75600	67200	614
Área livre da peneiras						
Ø 0,8 mm	mm ²	2956	7879	6728 ^a	6115	338
Ø 3,0 mm	mm ²	7929	8313	11718	11356	909
Ø 5 mm	mm ²	11961	8251	14666 ^b	12969	129
Ø 10 mm	mm ²	14313	16192		14716	3393 ^c

^a valor para peneira 1 mm.

^b valor para peneira 6 mm.

^c valor para peneira 4,5 mm.

Os componentes responsáveis pela desintegração do grão no interior da máquina são os martelos. Por isso, sua forma, dimensões e disposição no rotor da máquina são importantes para análise do conjunto. Os martelos, cujos modelos estão dispostos na Figura 5 em escala reduzida, foram retirados da máquina, para se fazer uma cópia de sua forma, e colocados lado a lado, respeitando-se suas dimensões relativas. Observa-se que o martelo da máquina 4 possui apenas uma superfície de ataque, o que não permite ao usuário a reversão (possibilidade de alteração da superfície desgastada pela simples troca de posição dos martelos), para melhor aproveitamento, quando houver desgaste da superfície. Os outros fabricantes permitem que se façam até quatro reversões antes da troca por um martelo novo.

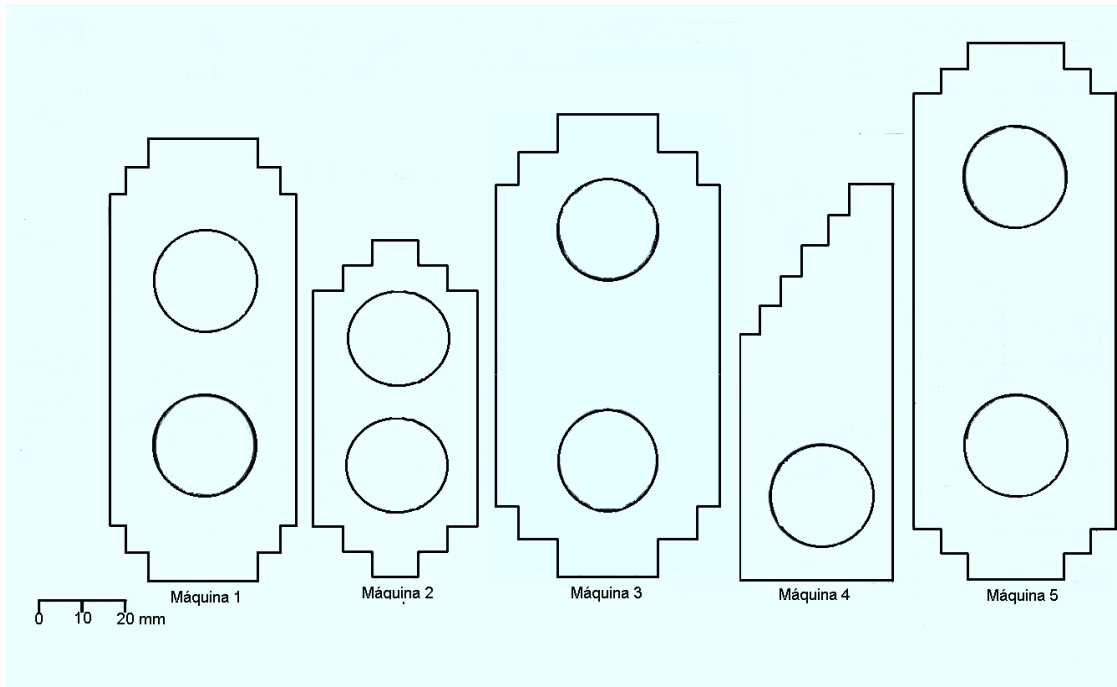


Figura 5 - Modelos de martelos usados nas máquinas avaliadas.

4.3. Módulo de finura e diâmetro médio

Após o término de todas as etapas de ensaios, foi realizado o ensaio para a determinação do módulo de finura e do diâmetro médio, conforme recomendação da ASAE S 319.2. No Quadro 5, encontram-se os valores obtidos.

Quadro 5 - Módulo de finura e diâmetro médio [mm]

			V. periférica [m/s]				
Peneira			43,94	55,75	59,87	68,37	74,46
Máquina 1	0,8 mm	M. finura	1,36	1,24	1,23	1,28	1,46
		D. médio	0,27	0,25	0,24	0,25	0,29
	3 mm	M. finura	2,46	2,12	2,40	1,99	----
		D. médio	0,57	0,45	0,55	0,42	----
	5 mm	M. finura	2,90	2,76	2,64	2,22	2,48
		D. médio	0,78	0,71	0,65	0,49	0,58
	10 mm	M. finura	3,48	3,16	2,93	2,70	2,74
		D. médio	1,16	0,93	0,79	0,68	0,70
Peneira			34,92	44,31	47,58	54,34	59,18
Máquina 2	0,8 mm	M. finura	----	1,37	1,46	1,26	1,46
		D. médio	----	0,27	0,29	0,25	0,29
	3 mm	M. finura	----	2,81	2,76	2,59	2,56
		D. médio	----	0,73	0,71	0,63	0,62
	5 mm	M. finura	3,04	3,08	3,15	2,82	2,85
		D. médio	0,85	0,88	0,92	0,73	0,75
	10 mm	M. finura	3,97	3,23	3,39	3,15	3,30
		D. médio	1,63	0,98	1,09	0,93	1,02
Peneira			43,84	55,62	59,73	68,21	74,29
Máquina 3	1 mm	M. finura	1,93	2,23	1,97	1,60	1,67
		D. médio	0,40	0,49	0,41	0,32	0,33
	3 mm	M. finura	2,90	2,46	2,53	2,45	2,00
		D. médio	0,78	0,57	0,60	0,57	----
	6 mm	M. finura	3,61	2,70	3,01	2,68	3,11
		D. médio	1,27	0,68	0,84	0,67	0,90
Peneira			43,84	55,62	59,73	68,21	74,29
Máquina 4	0,8 mm	M. finura	1,50	1,46	1,54	1,61	1,74
		D. médio	0,29	0,29	0,30	0,32	0,35
	3 mm	M. finura	3,05	2,73	2,67	2,62	3,00
		D. médio	0,86	0,69	0,66	0,64	1,00
	4,5 mm	M. finura	3,36	2,82	3,02	2,72	2,98
		D. médio	1,07	0,74	0,84	0,69	0,82
	10 mm	M. finura	3,62	3,57	----	3,19	2,05
		D. médio	1,28	1,23	----	0,95	0,43
Peneira			38,23	48,51	52,09	59,49	64,78
Máquina 5	0,8 mm	M. finura	1,46	1,41	----	1,33	1,40
		D. médio	0,29	0,28	----	0,26	0,27
	3 mm	M. finura	2,40	2,37	2,42	2,20	1,00
		D. médio	0,55	0,54	0,56	0,48	----
	4,5 mm	M. finura	3,97	2,64	2,86	2,66	2,40
		D. médio	0,70	0,65	0,76	0,66	0,55
	10 mm	M. finura	3,83	3,82	3,57	3,24	3,15
		D. médio	1,48	1,47	1,23	0,98	0,92

Pode-se observar que a tendência de aumento da velocidade periférica do rotor provoca diminuição do módulo de finura e, conseqüentemente, do diâmetro. Esta tendência é válida para todas as peneiras ensaiadas.

Podem-se obter módulos de finuras semelhantes para uma peneira com a menor velocidade periférica, instalando uma peneira de diâmetro superior e aumentando sua velocidade do rotor.

4.4. Avaliação do desempenho

Para a avaliação do desempenho dos moedores, foi utilizado o valor médio de torque, da rotação e do intervalo de tempo obtidos do histograma de medição, gerado pelo sistema de aquisição de dados.

De acordo com a Figura 6, o ponto inicial de amostragem foi tomado no início de subida da curva e o ponto final, em seu decaimento.

Pode-se observar a estabilidade do sistema quando este se encontra em operação; as variações de medidas são mínimas tanto para torque como para rotação. O alcance do regime de operação é atingido muito rapidamente após a abertura da comporta da moega. Em todos os histogramas plotados, houve aumento do torque, acompanhado de queda na rotação.

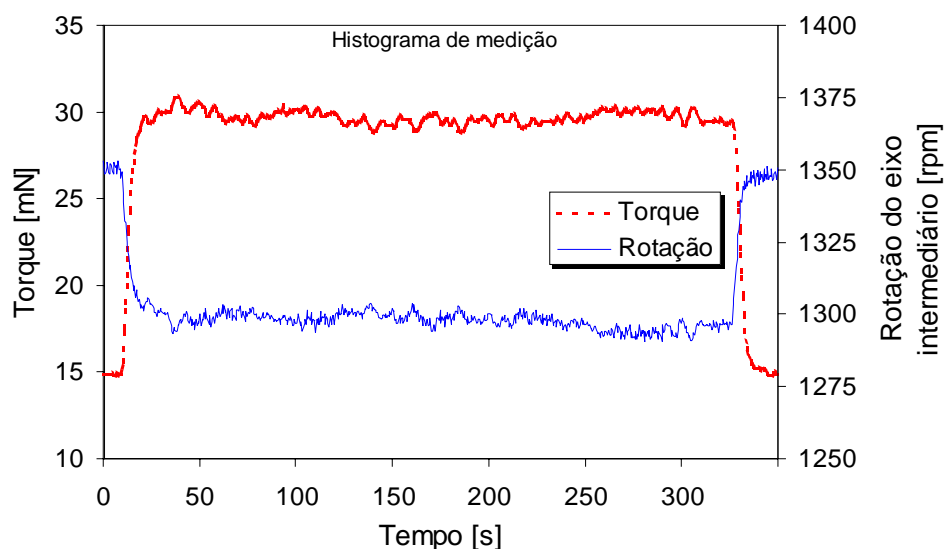


Figura 6 - Exemplo do histograma de medição.

4.5. Capacidade máxima de processamento

A capacidade máxima de processamento de cada equipamento, cujos valores se encontram no Quadro 6, foi calculada empregando-se a equação 4.

Estes valores foram os máximos alcançados durante a realização dos ensaios. Pode-se observar que a máquina número 4 obteve os maiores valores na categoria da peneira 0,8 e 3 mm, enquanto a número 2 teve destaque para as peneiras de 5 e 10 mm.

Quadro 6 - Capacidade de processamento em t/h para todas máquina em várias peneiras

Peneira	Máquinas				
	1	2	3	4	5
0,8	0,09	0,062	0,29	0,14	0,1
3	0,64	0,6	0,56	0,74	0,45
5	0,61	0,94	0,53**	0,82	0,76**
10	1,1	1,2		0,93	1,13

* Valor para peneira 1,0 mm.

** Valor para peneira 6 mm.

*** Valor para peneira 4,5 mm.

4.6. Demanda de potência

Para a determinação da demanda de potência de cada máquina, em cada etapa dos ensaios, foi utilizada a equação 3, com os valores médios de torque e rotação. As potências demandadas para a maior taxa de alimentação, nas várias rotações, podem ser observadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Demanda de potência em kW para todas as máquinas em várias peneiras

Peneira	Máquinas				
	1	2	3	4	5
0,8	4,37	3,13	4,24*	4,36	4,25
3	4,52	4,52	4,18	4,17	4,63
5	4,16	4,6	2.97**	3,9	4.58**
10	4,52	4,5		3,1	4,02

* Valor para peneira 1,0 mm.

** Valor para peneira 6 mm.

*** Valor para peneira 4,5 mm.

Constam da Figura 7 os valores de potência necessária apenas para manter as máquinas em funcionamento, sem executar trabalho útil, mas apenas vencendo o atrito do sistema de ventilação e os rolamentos.

O aumento da potência está relacionado com a elevação da velocidade periférica. O modelo linear de regressão foi o que melhor se adaptou a este incremento de potência, tendo como equação:

$$Y = aX + b \quad (6)$$

em que

Y – variável dependente;

X – variável independente;

a – coeficiente de inclinação da reta; e

b – coeficiente de regressão.

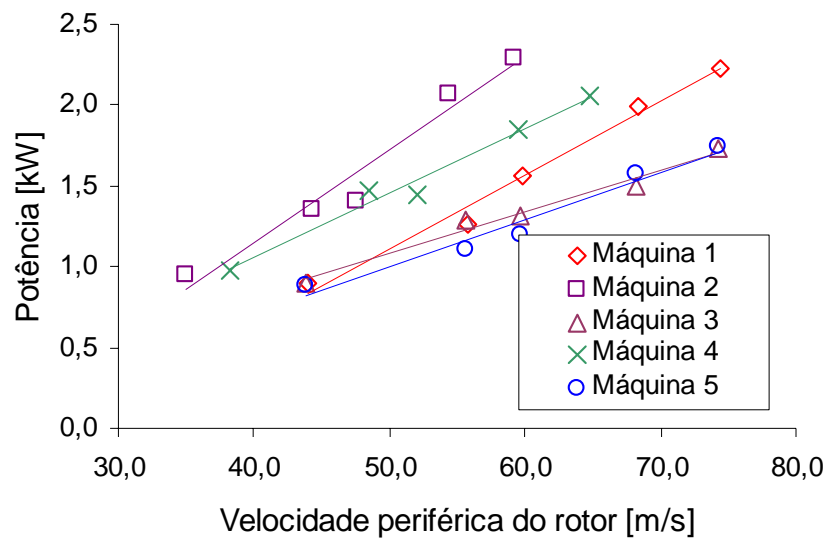


Figura 7 - Demanda de potência em várias velocidades periféricas para manter o conjunto em funcionamento (sem carga ou sem executar trabalho útil).

Na Figura 8, pode-se observar o aumento da solicitação de potência pela máquina, em função do tipo de peneira utilizado e da capacidade de processamento. Conforme comentado anteriormente, pela análise da Figura 8, pode-se inferir que, quando a capacidade de processamento é zero, há demanda de potência para apenas manter o equipamento em funcionamento (cruzamento da reta com o eixo y, ou ponto de interseção da reta). Nos ensaios, o motor utilizado tinha potência nominal de 3,75 kW, sendo que o fabricante prevê sobrecarga de até 25% e, por conseguinte, a potência disponível no eixo do motor pode alcançar até 4,68 kW. Na Figura 8, verifica-se que a potência está no limite e somente será alcançada nas velocidades periféricas mais altas, nas peneiras de 3 e 10 mm. Para velocidades mais baixas, no caso de 3 mm, têm-se problemas com a obstrução da peneira e do ventilador. Para a peneira de 10 mm, na velocidade periférica mais baixa, tem-se entupimento do duto do ventilador, o que acarreta baixa produtividade. O sistema de transporte poderia ser eliminado da máquina; para isto, devem-se estudar formas alternativas de ensacamento do farelo. Como sugestão, pode-

se adaptar um sistema de rosca sem fim ou até mesmo promover a saída do produto pela parte inferior da máquina.

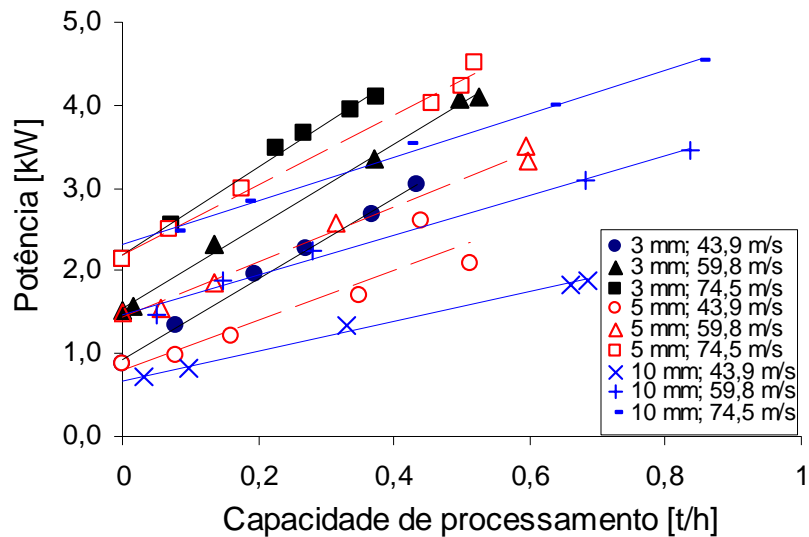


Figura 8 - Demanda de potência, em função do tipo de peneira e da velocidade periférica para a máquina 1.

4.7. Consumo específico

Na determinação do consumo específico, para cada etapa do ensaio, foram utilizados os valores médios da demanda de potência (kW), relacionando-se esta variável com a capacidade de produção (t/h). A premissa de que o valor do consumo específico deve ser o menor possível significa que é preciso gastar menor quantidade possível de energia para produzir certa quantidade de farelo.

Na Figura 9, observam-se as curvas de tendência para determinada máquina operando em velocidades periféricas diferentes. Verificam-se os menores consumos específicos em velocidades menores, no entanto, há pequena diminuição da capacidade de processamento, a qual é causada por obstrução das peneiras e, ou, do sistema de ventilação.

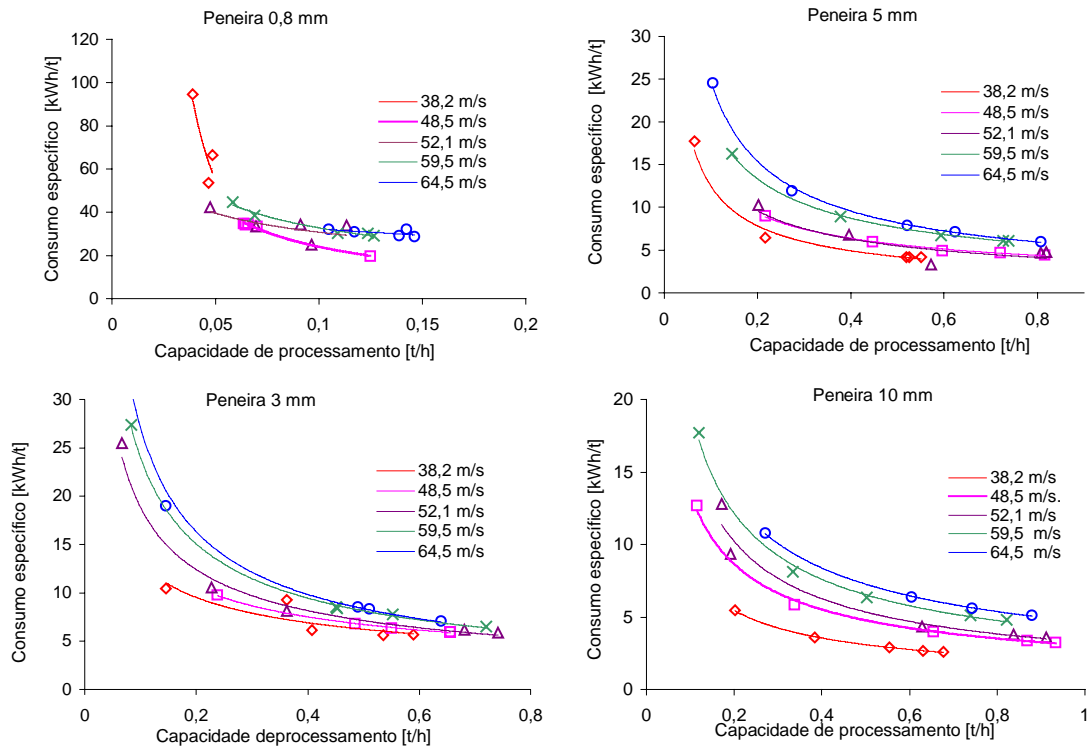


Figura 9 - Exemplo de variação do consumo específico versus capacidade de processamento.

4.8. Peneira de 0,8 mm

Conforme se verifica na Figura 10, o consumo específico de energia, quando se utilizou a peneira de 0,8 mm, foi elevado em comparação às outras peneiras.

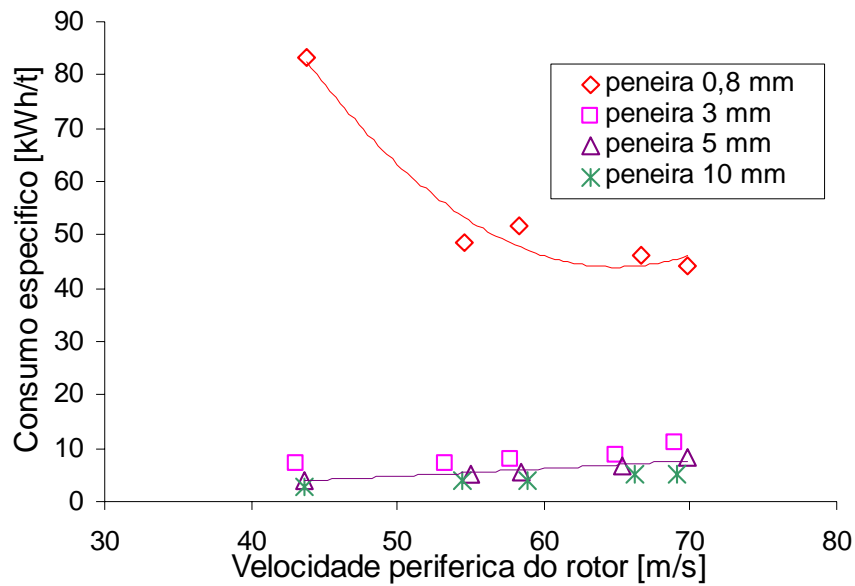


Figura 10 - Consumo específico de energia para máquina 1.

Acredita-se que este efeito seja atribuído ao fato de a peneira possuir diâmetro muito pequeno; assim, o grão deve ser reduzido a partículas pequenas, capazes de transpor a peneira, sendo necessária grande quantidade de energia, resultando no elevado consumo específico observado.

A Figura 11 mostra que este mesmo efeito é observado para as demais máquinas testadas. Verifica-se que o consumo específico da peneira 0,8 mm supera as demais em, aproximadamente, cinco vezes.

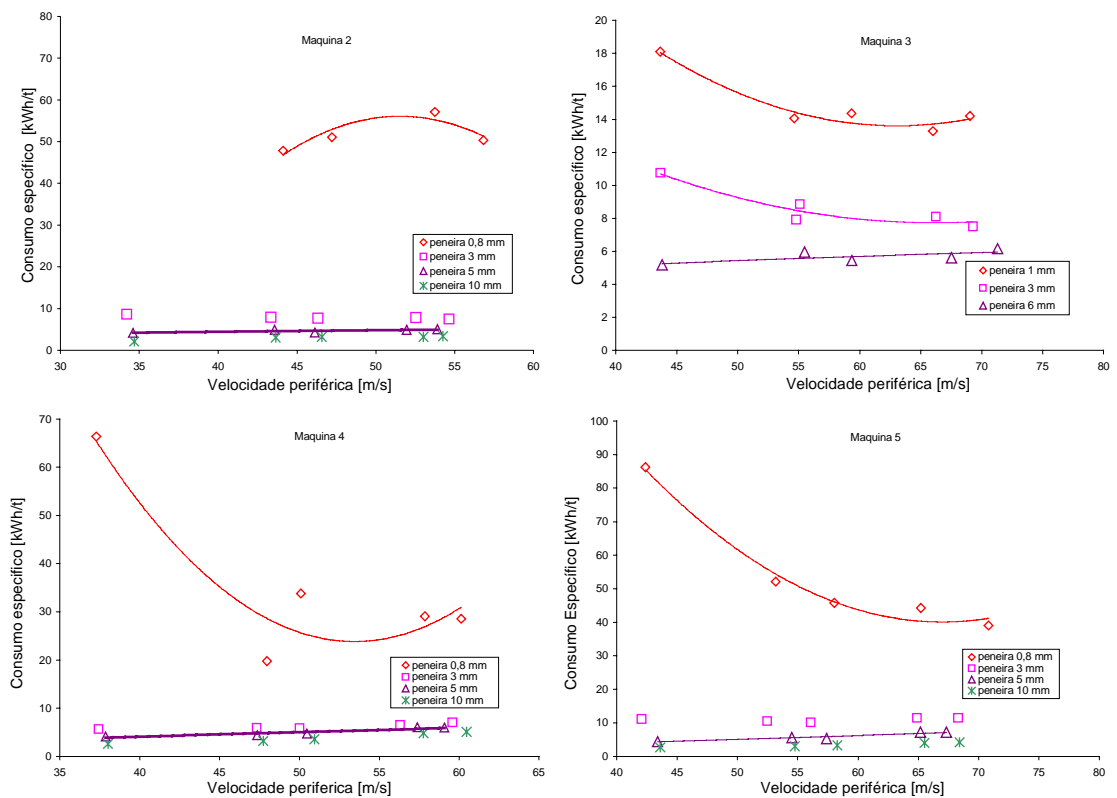


Figura 11 - Consumo específico de energia para demais máquinas testadas.

O custo operacional da máquina usando a peneira de 0,8 mm é bem maior que o das demais. Este fato sugere que se investigue a real utilidade desta peneira. Outro fator importante a ser observado é a baixa capacidade de processamento, em torno de 100 kg/h, conforme Quadro 6. Foi observado, durante a execução dos ensaios, que, quanto menor o diâmetro dos furos da peneira, maior a perda de material em várias partes dos equipamentos testados (tampa superior, tubulação de transporte e ciclone). Estas perdas, no entanto, poderiam ser minimizadas pela precisa justaposição das peças constituintes da máquina.

O agricultor, de modo geral, utiliza esta peneira para produção de fubá para consumo humano, a qual deve ter granulometria mais fina. Devido ao alto consumo específico observado na peneira de 0,8 mm, plotou-se, na Figura 12, a comparação entre a granulometria de duas marcas comerciais de fubá e a

distribuição granulométrica do milho triturado pela peneira de 3 mm, para diversas velocidades do rotor, em todas as máquinas avaliadas.

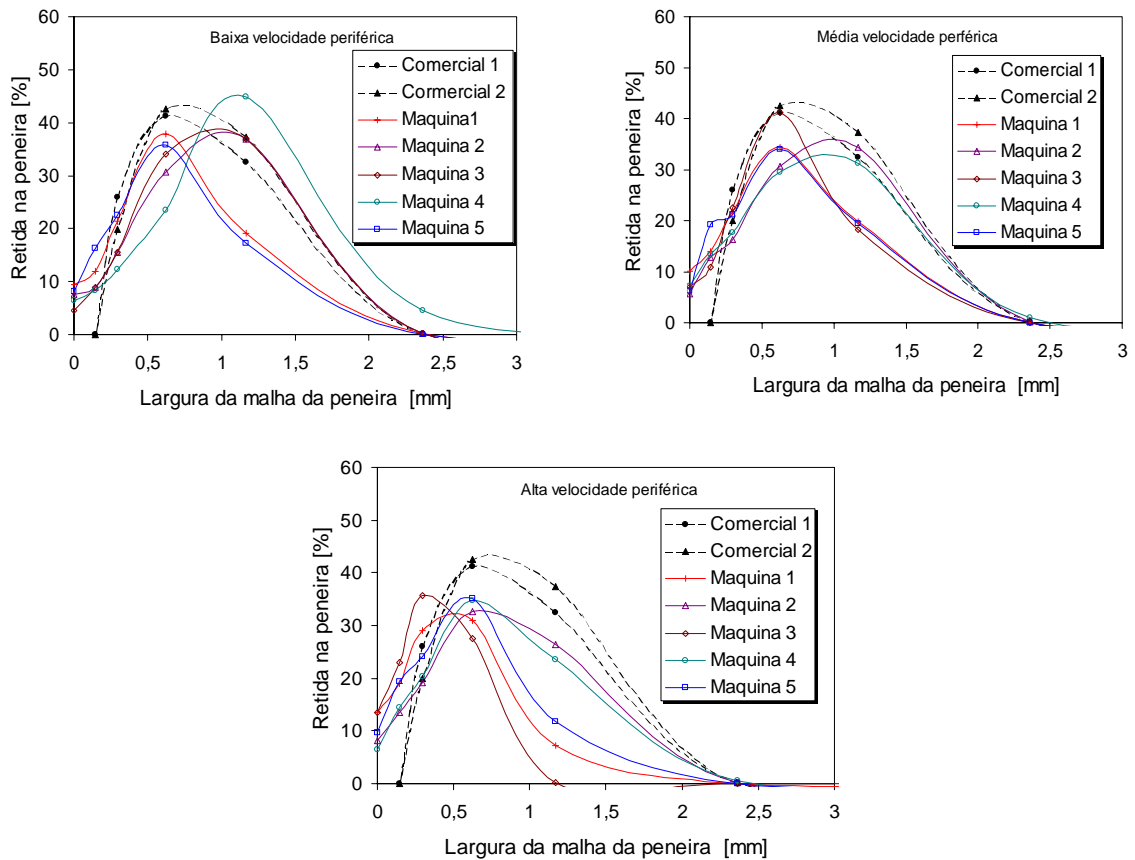


Figura 12 - Distribuição granulométrica de fubá produzido comercialmente por duas empresas na região de Viçosa-MG e fubá produzido pelas cinco máquinas avaliadas com a peneira de 3 mm para diferentes velocidades periféricas do rotor.

Constata-se que a peneira de 3 mm produz um fubá cuja distribuição granulométrica tem grande semelhança aos produtos comerciais. Este resultado sugere a substituição da peneira 0,8 mm pela de 3 mm. Com a substituição da peneira de 0,8 mm pela de 3 mm, reduz-se o consumo específico de energia, aumenta-se a capacidade de produção da máquina e diminui-se o custo de fabricação do equipamento, que a tornaria mais barata para o usuário final.

Na Figura 12, observa-se que o aumento da velocidade de processamento produz maior quantidade de material fino. Estes resultados

estão de acordo com os obtidos FENTON e LOGAN (1931) e confirmam suas observações do efeito da velocidade periférica na distribuição granulométrica. Esses autores concluíram que, nas menores velocidades periféricas, maior é o módulo de finura do produto, ou seja, velocidades menores produzem farelos mais grosseiros.

4.9. Peneira de 3 mm

Pode-se observar, na Figura 13, que a máquina número 4 apresentou menor consumo específico em relação às outras máquinas testadas. As possíveis causas deste desempenho resulta da ação de duas características da máquina 4. A primeira característica é a área livre de sua peneira, total de 11.356 mm², perdendo somente para a máquina número 3, com 11.718 mm². A outra característica é o número de martelos. A máquina 3 possui 12 martelos colocados em dois conjuntos espaçados entre si, com ângulo de 180°. O número de martelos da máquina 4 é de 20, dispostos em quatro conjuntos espaçados entre si a um ângulo de 90°; dessa maneira, pode também ter influenciado neste desempenho, uma vez que o maior número deste elemento resulta em maior número de golpes no grão, fazendo sua desintegração mais rápida. Outra máquina que apresenta disposição de martelo semelhante ao representado pela máquina 4 é a de número 1, porém sua área de peneira é a menor de todas, com valor de 7.929 mm², fato que justifica seu consumo específico maior que o da máquina 4.

Outro fator que pode ter contribuído para este desempenho foi o diâmetro médio das partículas produzido pela máquina 4, sendo de 0,69 mm (Quadro 8), uma vez que é necessário menor gasto de energia para a produção de diâmetros maiores, como o que ocorreu no caso da peneira de 0,8 mm.

Quadro 8 - Valores dos diâmetro médio [mm] para peneira de 3 mm

V. periférica	Máquinas				
	1	2	3	4	5
V1	0,57	0,73	0,78	0,86	0,55
V2	0,45	0,71	0,57	0,69	0,54
V3	0,55	0,63	0,60	0,66	0,56
V4	0,41	0,62	0,56	0,64	0,48
V5			0,36	0,62	0,30
Média	0,5	0,67	0,57	0,69	0,49

A aplicação do testes t mostrou que o diâmetro médio do farelo produzido pela peneira 3 mm da máquina 4 foi estatisticamente diferente das demais médias, em nível de probabilidade de 5%.

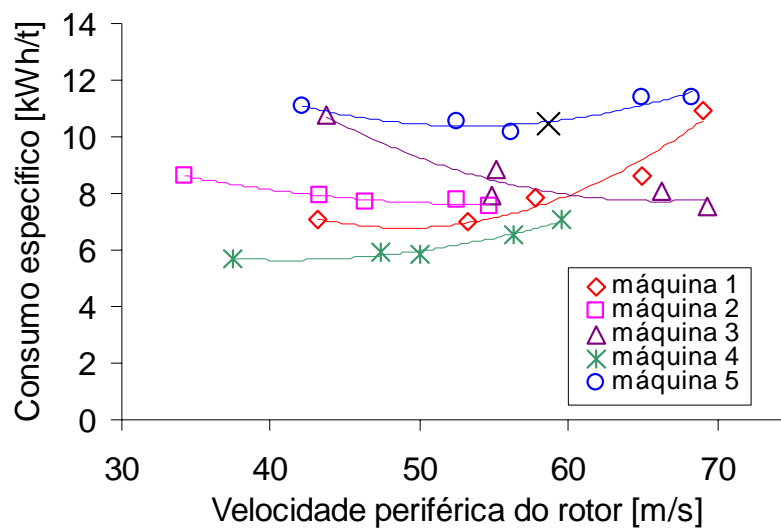


Figura 13 - Consumo específico para a peneira de 3 mm, para diferentes velocidades periféricas.

A Figura 13 também demonstra que a eficiência de algumas das máquinas avaliadas pode ser melhorada alterando-se suas velocidades de trabalho. Observa-se que as máquinas 2 e 3 podem ter sua eficiência

melhorada aumentando sua velocidade periférica, o que traria como benefício adicional aumento na capacidade de produção, pois esta é proporcional à velocidade da máquina.

As máquinas 1, 4 e 5 não obteriam vantagens energéticas com o aumento da velocidade, e sim com sua redução. Esta alternativa, no entanto, não é a melhor, visto que reduziria a capacidade de processamento de todas elas.

4.10. Peneira de 5 mm

Na Figura 14, observa-se, para a peneira de 5 mm, pouca diferença entre os equipamentos testados, sendo os valores de consumo específico obtidos semelhantes. Em todas as curvas, o fator que mais influenciou no processo foi a velocidade periférica, haja vista que valores de consumo específico menores acontecem nas velocidades mais baixas.

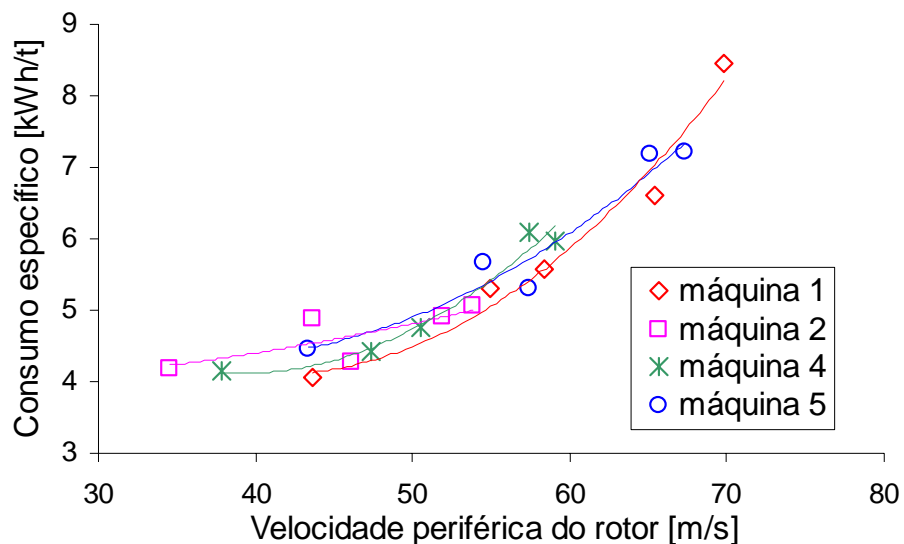


Figura 14 - Consumo específico para a peneira de 5 mm para diferentes velocidades periféricas.

4.11. Peneira de 10 mm

Na peneira de 10 mm, os valores de consumo específico de todas as máquinas testadas na menor velocidade foram muito próximos, apesar de haver diferenças nas áreas livres das peneiras variando de 9.393 mm², para a máquina número 5, a 16192 mm², para a número 2 (Figura 15).

A peneira de 10 mm, operando em baixas velocidades, provocou colapso no sistema de ventilação do equipamento, o que limitou a capacidade de processamento.

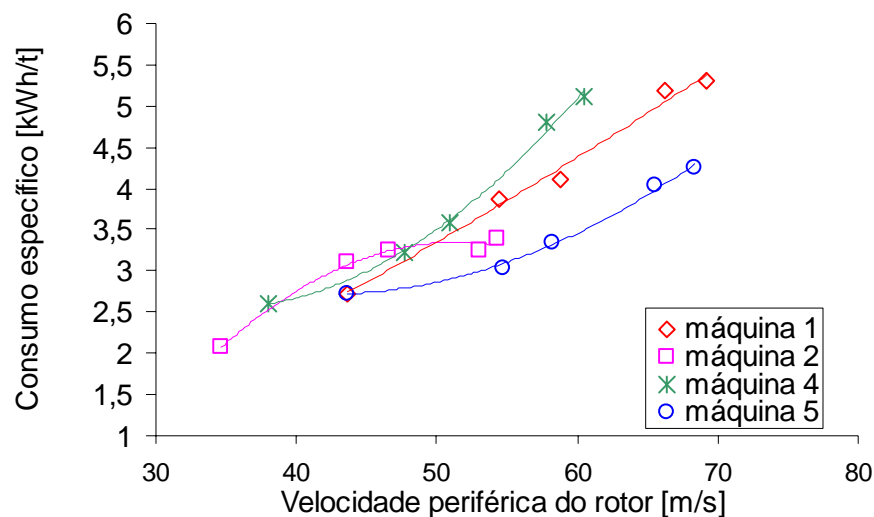


Figura 15 - Consumo específico para a peneira de 10 mm, para diferentes velocidades periféricas.

4.12. Capacidade de processamento na rotação nominal

4.12.1. Peneira de 3 mm

Podem-se observar, no Quadro 9, para cada máquina ensaiada, os valores medidos para capacidade de processamento na rotação nominal, juntamente com as médias e os respectivos desvios-padrão. Após a realização

do teste t para a comparação das médias obtidas, pode-se inferir que apenas os valores médios das máquinas 1 e 2 foram iguais a 5% de probabilidade. Em razão de as demais médias terem sido estatisticamente diferentes a 5% de probabilidade, concluiu-se que houve diferenças entre os valores.

Quadro 9 - Valores da capacidade de processamento das diversas máquinas para peneira de 3 mm na rotação nominal

Máquina	taxa de processamento [t/h]			Potência [kW]	
	leituras	média	desvio	leituras	média
1	0,480	0,488 ^a	0,007	3,910	3,970 ^d
	0,490			3,990	
	0,493			4,010	
2	0,453	0,475 ^a	0,035	3,391	3,509 ^d
	0,515			3,716	
	0,456			3,420	
3	0,184	0,186 ^b	0,002	1,867	1,977 ^e
	0,187			2,054	
	0,188			2,009	
4	0,653	0,651 ^c	0,008	4,526	4,333 ^f
	0,642			4,224	
	0,658			4,249	
5	0,583	0,575 ^c	0,013	4,785	4,750 ^f
	0,560			4,711	
	0,583			4,755	

As médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem em nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A máquina 3 apresentou baixa capacidade de processamento, quando comparada às demais (Figura 16). Acredita-se que a principal causa para este reduzido desempenho constitui-se na baixa rotação recomendada pelo fabricante do equipamento. A baixa rotação provocou, durante a execução dos testes, obstrução da tubulação de transporte de farelo. Após a desmontagem do equipamento, a obstrução foi detectada na região localizada entre a peneira e o ventilador. Com o aumento da rotação de trabalho, pode-se eliminar este problema, bem como aumentar a capacidade de processamento

da máquina 3, porém esta recomendação para o incremento da rotação deve ser acompanhada da verificação da capacidade dos componentes móveis em suportar esta nova condição de trabalho (força centrífuga nos pinos dos martelos).

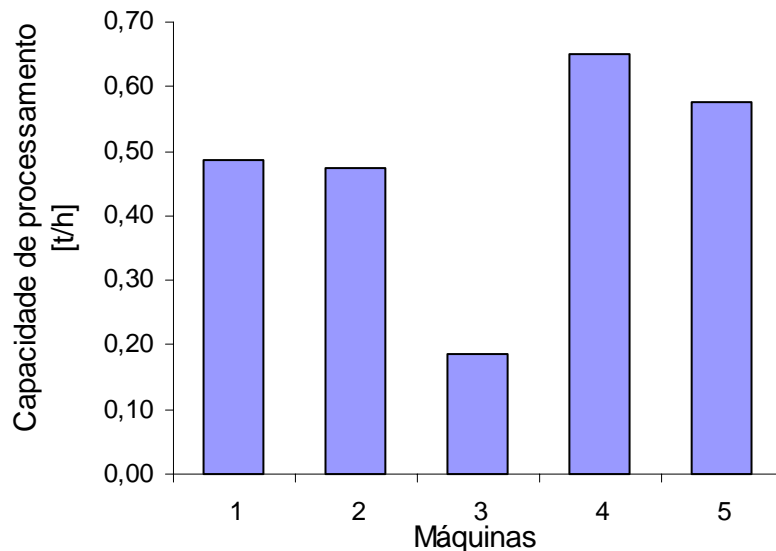


Figura 16 - Capacidade de processamento na rotação nominal.

A potência demandada pela máquina 3, 1,97 kW, está bem abaixo da fornecida pelo motor de 3,7 kW (5cv) na rotação nominal de trabalho especificada pelo fabricante. Assim, a potência de acionamento fornecida pelo motor poderia ser reduzida para 2,22 kW.

A máquina 4 apresentou a maior capacidade de processamento em relação às demais, com valor de 0,651 t/h (Figura 16). A característica técnica que diferencia este equipamento é a grande área livre das peneiras, possuindo ainda elevado número de martelos. Quanto à demanda de potência no valor de 4,33 kW, o motor de 5 cv está bem dimensionado para a máquina ensaiada.

4.12.2. Peneira de 5 mm

As médias dos valores apresentados no Quadro 10 foram comparadas pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade. Concluiu-se que apenas as médias para as máquinas 2 e 4 não diferiram entre si, enquanto as demais apresentaram diferenças em nível de 5% de probabilidade.

Verifica-se, para as peneira 5 mm, aumento na capacidade de processamento para todas as máquinas ensaiadas em relação à peneira de 3 mm. Este aumento não ocorreu de forma significativa para a máquina 3, devido ao fato desta apresentar problemas de obstrução no sistema de transporte de farelo, provocados pela baixa rotação. A obstrução é localizada na região entre a peneira e o ventilador. Com a obstrução, era necessária a limpeza da tubulação.

A máquina 1 apresentou capacidade de processamento de 0,571 t/h e potência demandada de 3,1 kW. Pode-se observar que a potência demandada é inferior à capacidade do motor. O fator limitante ao aumento da capacidade de processamento foi a pequena abertura na moega de alimentação. O redimensionamento da abertura da moega produziria ganho na capacidade de processamento.

Apesar de não terem apresentado diferenças estatísticas na capacidade de processamento, as máquinas 4 e 2 exigiram menor potência de acionamento, com valor de 4,0 kW contra 4,2 kW, respectivamente. O menor valor de consumo específico foi conseguido pela máquina número 4, a qual apresentou valor de 4,24 kWh/t. Isto significa que a número 4 é mais eficiente no processo, pois demandou menor potência para a mesma capacidade de processamento.

Quadro 10 - Valores da capacidade de processamento para as diversas máquinas para peneira 5 mm

Máquina	taxa de processamento [t/h]			Potência [kW]	
	leituras	média	desvio	leituras	média
1	0,556	0,571 ^a	0,013	2,997	3,102
	0,578			3,109	
	0,580			3,200	
2	0,946	0,938 ^b	0,008	4,196	4,200
	0,937			4,305	
	0,930			4,100	
3*	0,257	0,235 ^c	0,019	1,578	1,513
	0,226			1,497	
	0,221			1,464	
4	0,926	0,946 ^b	0,018	4,062	4,010
	0,963			3,948	
	0,950			4,020	
5**	0,816	0,816 ^d	0,006	4,274	4,262
	0,822			4,313	
	0,810			4,200	

*Peneira 6 mm

**Peneira 4,5 mm

As médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem em nível de 5%.

4.13. Recomendações de peneiras para fabricação de ração

No caso de ração para aves, conforme recomendação de ZANOTTO et al.(1994), não existe uma peneira padrão para ser utilizada na fabricação. Uma vez que os diversos experimentos demonstraram que os diâmetros da peneiras utilizadas não afetaram a conversão alimentar das aves, concluiu-se que, analisando a questão sob aspecto da conversão alimentar e do consumo específico de energia, deve-se utilizar uma peneira de 5 ou 10 mm, por apresentar os menores consumos específicos e maior capacidade de processamento.

ZANOTTO et al. (1995) afirmaram que o desempenho dos suínos melhorou com a diminuição do módulo de finura (FM) ou do diâmetro médio das partículas do milho e do sorgo. Para o milho, os melhores resultados

pareceram ocorrer quando FM variou de 2,29 a 2,63 e o diâmetro médio, de 0,50 a 0,65 mm.

No Quadro 11, encontra-se a melhor relação entre o diâmetro médio e o consumo específico para as máquinas ensaiadas.

Quadro 11 - Recomendações de peneira e rotações para diversas máquinas

Máquina	Peneira [mm]	Rotação [rpm]	Diâmetro médio
1	5	4748	0,48
2	3	4416	0,62
3	3	3601	0,60
4	3	4015	0,64
5	5	4809	0,55

Na formulação de rações para bovinos, a literatura não apresentou uma recomendação adequada, indicando apenas que o milho deve ser triturado a ponto de quirera, ou seja, um farelo de granulometria média; portanto, a peneira de 5 mm com a velocidade baixa seria a mais indicada, devido ao menor consumo específico de energia.

4.14. Nível de ruído

A Figura 17 apresenta as variações do nível de ruído ocorrido durante a execução dos ensaios. Pode-se observar que o nível de ruído em todas as rotações está acima do limite adotado pela NR 15 da Portaria 3.214/78 do MTb, que é de 85 dB(A) para uma jornada de 8 horas diárias.

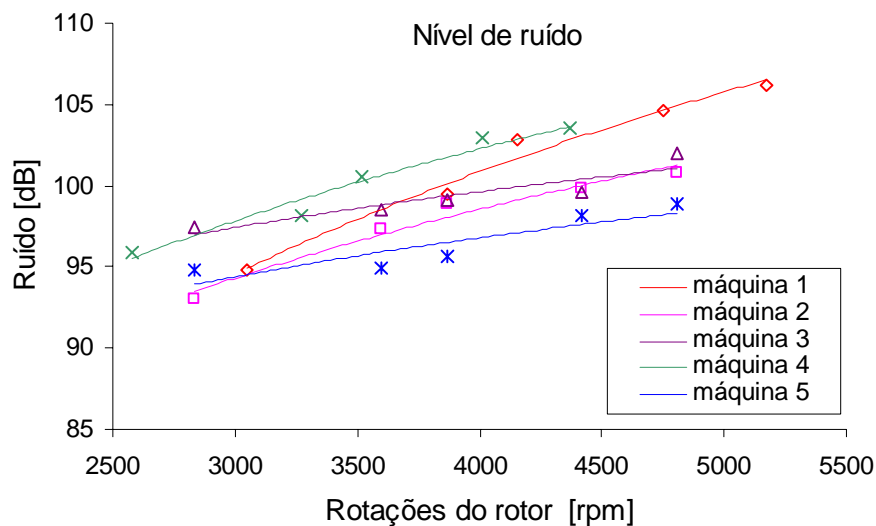


Figura 17 - Ruído produzido pelas máquinas, em função da rotação de trabalho.

4.15. Desgaste dos martelos

Na Figura 18, observa-se o desgaste do martelo, em função das horas de trabalho. Este teste, por consumir muito tempo, foi realizado somente para três das máquinas ensaiadas. Na realização dos testes, as máquinas funcionaram com uma peneira 1 mm e capacidade de processamento média de 0,09 t/h, resultando em desgaste médio de, aproximadamente, 33,3 mg/t. GENTIL (1970), ao realizar testes, obteve valores da ordem de 46 mg/2 t.

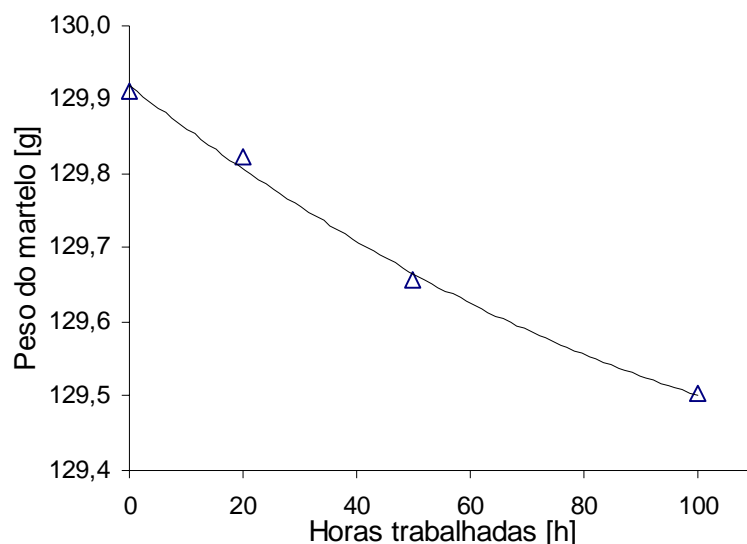


Figura 18 - Exemplo desgaste de um dos martelos ensaiados, em função das horas de trabalho para a máquina 3.

4.16. Segurança

As máquinas apresentam duas regiões críticas para a ocorrência de acidentes, uma na bica de alimentação e outra na região das correias e polias.

Para a região da bica de alimentação, propõe-se colocar uma chapa fixa de metal na entrada, com espaço suficiente apenas para a passagem dos grãos.

Para a proteção das correias e polias, já existem no mercado capas de segurança para esta função.

Durante os testes da máquina 3, foi observada, na tubulação de condução do farelo, a geração de eletricidade estática em grande intensidade, com o aparecimento de faísca ao longo da tubulação. Em determinadas condições de concentração de pó e umidade, estas faíscas poderiam provocar perigosas explosões. Este perigo pode ser evitado com a substituição do material da tubulação de PVC por um material não-estático.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho visou, portanto, avaliar o desempenho comparativo de cinco moedores de milho.

Buscou-se avaliar a demanda de potência, a capacidade de processamento, o consumo específico de energia, a distribuição granulométrica do produto triturado pelo moedor, o desgaste dos martelos e o nível de ruído no posto de trabalho do operador da máquina.

Além disso, procurou-se observar, durante os testes, aspectos relacionados à segurança operacional, ergonomia, vazamentos e contaminação do ambiente com o pó do produto em suspensão.

Com base nos resultados obtidos e nas condições dos testes, pode-se afirmar que:

- a peneira de 3 mm produz um fubá cuja distribuição granulométrica tem grande semelhança aos produtos comerciais. Este resultado sugere a utilização desta peneira para produção de fubá para uso na alimentação humana.

- a peneira de 0,8 mm apresentou baixa capacidade de processamento e alto consumo específico de energia.

- a máquina 4 apresentou menor consumo específico para peneira de 3 mm e, nas de 5 e 10 mm, não se verificaram diferenças entre as máquinas

avaliadas; acredita-se que o resultado verificado para a máquina 4 se deva à relação entre o número de martelos e a área da peneira.

- em baixas rotações, o sistema de ventilação responsável pelo transporte de farelo é um ponto limitante para o aumento da capacidade de processamento, principalmente para a máquina 3, que deveria ter sua rotação do rotor aumentada;

- o nível de ruído medido durante os ensaios esteve bem acima do limite de 85 dB(A) recomendado pelo Ministério do Trabalho. Deve-se, portanto, utilizar protetores auriculares, para evitar futuros problemas de audição. Outra possibilidade seria o isolamento acústico do equipamento por meio de materiais apropriados;

- as máquinas avaliadas não tinham dispositivos de proteção seja para as correias, ou para a bica de alimentação.

6. RECOMENDAÇÕES

Como sugestão para os próximos ensaios, com o objetivo de otimizar o funcionamento do DPM, sugere-se estudar os seguintes itens:

- aumento da potência fornecida ao DPM para verificar a influência sobre a capacidade de processamento;
- estudo de um sistema de transporte do farelo mais eficiente; e
- estudo de sistemas de segurança.

Como sugestão para melhoria no Laboratório de Ensaio de Equipamentos Eletorrurais, pode-se citar:

- sistema automático para controle da taxa de alimentação dos DPM;
- acionamento dos motores pela sala de controle;
- pesagem do farelo processado por meio de uma balança eletrônica conectada no sistema de aquisição de dados;
- instalação de um depósito de grão para armazenamento e
- variação da rotação do motor por intermédio de variadores eletrônicos de rotação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. method of determining and expressing fineness of feed Materials by sieving ASAE S 319.2. In: **ASAE STANDARDS 1993**; standards engineering practices data. 40.ed. St Joseph: 1993. p.447-448.
- DELGADO, L.M. **EL tractor agrícola características y utilizaciom**. Madri, Espanha: La Boreo Solotractor, 1991. 235p.
- DIAS, G.P., VITÓRIA, E.L., REIS, E.F., KHOURY JÚNIOR, J.K. Bancada de testes de equipamentos eletrorrurais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 3, São Paulo, 1988. **Anais** ...São Paulo: 1998. p.669-672.
- FENTON, F.C., LOGAN, C. **Farm grinding of grain and forage**. Kansas State Coll. 1931. 27 p. (Eng.Expt.Sta. Bull).
- GENTIL, L.V.B. **Desgaste em órgão ativo de moinhos a martelos**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz 1970. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1970.
- HALL, C.W., ARANGO, F. S. **Equipo para procesamiento de productos agrícolas**. Lima: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de La OEA, 1968. 150p.

- HENDERSON, S.M., PERRY, R.L. **Agricultural Process Engineering**. Westport, Connecticut – EUA: The Avi Publishing Company, 1976. 442p.
- JARDIM, W.R. **Alimentos e alimentação do gado bovino**. São Paulo: Agromonica Ceres, 1976. 324p.
- KLINGER, C.M. **Efeito da granulometria do milho e forma de ração no desempenho de frango de corte**. Viçosa: UFV, 1995. 78p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- MIALHE, L.G. **Introdução ao estudo da avaliação do desempenho de máquinas agrícolas**. Piracicaba: ESALQ, 1987. 130p.
- REGAZZI, A.J. **Curso de iniciação à estatística**. Viçosa: UFV, 1997. 133p.
- ROSENBERG, S.J. Subcommittee on Wear of metals Handbook of American Society of metals. Ohio: 1964. p.216 – 222
- SEGURANÇA e medicina do trabalho. 39.ed. São Paulo: Atlas, 1998. 585p. (Manuais de Legislação Atlas, 16).
- ZANOTTO, D.L., ALBINO, L.F.T., BRUM, P.A.R. Efeito do grau de moagem no valor energético do milho para frangos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31, 1994, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ, 1994. p.57.
- ZANOTTO, D.L., NICOLAIEWSKY, S., FERREIRA, A.S., GUIDONI, A.L., LIMA, G.J.M. Granulometria do milho na digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 428-436, 1995.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Quadro 1A - Dados técnicos das máquinas ensaiadas

Parâmetros	Un.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Potência nominal	KW	3,75	3,75 - 5,63	3,75	3,75	3,75
Rotação Recomendada	rpm	4000	3800- 4000	3000	3500	3600
Peso do DPM	kg	71	66	63	82	78
Diâmetro Máximo do rotor	mm	275	235	295	285	295
Conjuntos de martelos	-	4	2	2	4	4
Largura do rotor	mm	75	60	53	88	50
Numero de martelos		20	10	12	20	12
Comprimento dos martelos	mm	95	73	98	85	115
Espessura dos martelos	mm	5,0	4,8	5,0	4,6	4,4
Número de travas internas		0	2	3	1	4
Largura da peneira	mm	120	132	126	120	106
Comprimento da peneira	mm	560	470	600	560	580
Área total	mm ²	67200	62040	75600	67200	61480
Área livre da peneiras						
Ø 0,8 mm	%	4,4	12,7 ^a	8,9 ^a	9,1	5,5
Ø 0,8 mm	mm ²	2956	7879	6728 ^a	6115	3381
Ø 3,0 mm	%	11,8	13,4	15,5	16,9	14,8
Ø 3,0 mm	mm ²	7929	8313	11718	11356	9099
Ø 5 mm	%	17,8	13,3	19,4 ^b	19,3	21,1 ^c
Ø 5 mm	mm ²	11961	8251	14666 ^b	12969	12972 ^c
Ø 10 mm	%	21,3	26,1	-	21,9	10,4
Ø 10 mm	mm ²	14313	16192		14716	6393
Diâmetro do volante	mm	225	255	205	280	215
Largura do volante	mm	75	72	53	68	70
Diâmetro do ciclone	mm	400	365	475	465	500
Altura do ciclone	mm	1000	1100	750	1200	1050

^a valor para peneira 1 mm.

^b valor para peneira 6 mm.

^c valor para peneira 4,5 mm.