

## AValiação Energética de Moinho de Martelos em Relação ao DGM de Milho e o Desempenho em Suínos e Aves

Fábio Luiz Zanatta<sup>1</sup>, Adílio Flauzino de Lacerda Filho<sup>2</sup>, Carlos Alberto Teixeira<sup>3</sup>, William Rosário dos Santos<sup>4</sup>, Pedro L. A. de O. Costa<sup>5</sup>, Cláudio Lobo da Silveira<sup>6</sup> e Heverton Augusto Pereira<sup>7</sup>

### RESUMO

Na criação de animais em escala comercial, pode-se demonstrar que o fator determinante no lucro é a alimentação. Aliado a isto, os custos com energia elétrica são cada mais representativos na operação de moagem de grãos nas fábricas de ração. Ainda, existe uma relação entre: (i) o desempenho dos animais; (ii) o diâmetro geométrico médio (DGM) das partículas; e (iii) o consumo específico de energia. Este trabalho foi realizado na Fábrica de Ração, da Universidade Federal de Viçosa, que possui capacidade nominal de produção de ração de 6,0 toneladas por hora. O consumo específico de energia médio e o DGM das partículas obtidas do moinho, com o uso da peneira de crivos circulares e diâmetro de 4mm e 8 mm, foram iguais a 3,73 kWh t<sup>-1</sup> / 521,07 µm e 2,48 kWh t<sup>-1</sup> / 665,67 µm, respectivamente. A substituição da peneira de crivo circular de 4mm pela peneira de 8mm proporciona economia de energia, além de não afetar o desempenho dos animais que consumirão este milho moído, baseado na análise do DGM do milho moído.

**Palavras-chave:** fábrica de ração, DGM das partículas, consumo específico de energia.

### ABSTRACT

#### Energetic evaluation of hammer mills in relation to AGD of mayze and the performance in swine and chicken

In growing animals at large scale, feeding is shown to be the determinant factor on profit. Yet, the costs with electric power are increasingly representative in the grain grinding operation at the feeding factories. In addition, there is a relationship between: (i) the animals' performance; (ii) the average geometric diameter (AGD) of the particles; and (iii) the specific energy consumption. The experiment was carried out in the feeding factory belonging of the Universidade Federal de Viçosa, the nominal capacity for feeding production is 6.0 ton/hr. The average specific consumption of energy and the AGD particles obtained from the mill, by using sieves with circular meshes with 4mm and 8mm diameter were 3.73 kWh t<sup>-1</sup> / 521.07 µm and 2.48 kWh t<sup>-1</sup> / 665.67 µm, respectively. The substitution of the circular, 4mm- mesh sieve by the 8mm sieve will provide energetic economy without affecting the animals' performance, which will consume this ground maize, as based on the analysis of AGD of this maize.

**Keywords:** feeding factory, AGD particle, specific energy consumption.

---

Recebido para publicação em 27.07.2006

<sup>1</sup> Engº Agrícola, Mestrando DEA-UFV, Viçosa/MG. 36570-000. Fone: 3899-1923. C-e: fzanatta@vicosa.ufv.br.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Adjunto, D.S., DEA-UFV, Viçosa/MG. 36570-000.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, D.S., DEA-UFV, Viçosa/MG. 36570-000.

<sup>4</sup> Físico, DEA-UFV, Viçosa/MG. 36570-000.

<sup>5</sup> Bacharel em Direito, DEA-UFV, Viçosa/MG. 36570-000.

<sup>6</sup> Engenheiro Mecânico, DEA-UFV, Viçosa/MG. 36570-000.

<sup>7</sup> Graduando em Engenharia Elétrica, DEA-UFV, Viçosa/MG. 36570-000.

## INTRODUÇÃO

Segundo Zanotto et al. (1995), a rentabilidade nos sistemas de criação de suínos e aves está fortemente atrelada a seus custos de produção. A ração é cerca de 70 a 80% dos custos de produção da atividade. O grau de moagem dos ingredientes (tamanho das partículas) tem influenciado alguns aspectos de importância técnica e econômica na produção de suínos e aves, entre eles: custo no processamento de moagem, digestibilidade dos nutrientes, desempenho animal e lesões esôfago-gástricas, em suínos.

Entre os fatores que influenciam a granulometria dos ingredientes processados em moinho de martelos, citam-se: diâmetro dos furos da peneira, área de abertura da peneira, velocidade de rotação e número de martelos, distância entre martelos e peneira, fluxo de moagem, teor de água do ingrediente e desgaste do equipamento. Segundo Oliveira et al. (1991), como não existe a padronização de todas estas variáveis, a melhor forma de se analisar a granulometria dos ingredientes é por peneiramento.

Segundo Handerson e Perry (1995), com a granulometria obtida por peneiramento pode-se obter as frações percentuais retidas em cada peneira e com elas determinar o diâmetro geométrico médio das partículas (DGM). O DMG das partículas dos ingredientes considera todos os fatores de moagem, que influenciam a granulometria, favorecendo a comunicação entre nutricionista e fabricante de ração, ao correlacionar a granulometria do alimento à resposta animal.

O principal objetivo da moagem é produzir um produto, economicamente, viável e com ótima digestibilidade para o animal. Pode-se correlacionar que a eficiência do motor está ligada ao tamanho das partículas do produto moído. Desta forma, o consumo de energia elétrica, por tonelada de milho processado, diminui e a taxa de moagem aumenta com o aumento de tamanho das partículas do produto moído (Zanotto, 1995).

Com relação a suínos em crescimento e terminação, vários estudos foram realizados. Wu et al. (1989) não observaram diferença

nos coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da proteína bruta (CDPB) e da energia bruta (CDEB) das dietas, entre os tamanhos de partículas do milho, oriundo da moagem em moinho de martelos (757 e 1284  $\mu\text{m}$ ).

Zanotto et al. (1994) estudaram o efeito do processamento do milho em moinho de martelos (peneiras de 2,5; 3,5; 4,5 e 10,0 mm) e não observaram diferença ( $P > 0,05$ ) nos valores de energia metabolizável aparente corrigida (EMAn), em frangos de corte.

Trabalhando com diferentes tamanhos de partículas do milho nas dietas, Hsu et al. (1985), com 472 e 690  $\mu\text{m}$ ; e 1211  $\mu\text{m}$ ; Wu e Cheng (1988), com 1262, 1561 e 1883  $\mu\text{m}$ , não observaram influência dos respectivos tamanhos de partículas sobre o desempenho de suínos em crescimento-terminação. Por outro lado, Perry (1973) constatou que a conversão alimentar dos suínos melhora com a redução da granulometria do milho nas dietas.

Zanotto (1992), trabalhando com suínos em crescimento-terminação, observou que o aumento no tamanho das partículas do milho (509 a 1026  $\mu\text{m}$ ) aumentou o ganho de peso diário (GPD), aumentou linearmente ( $P < 0,01$ ) o consumo de ração (CR) e piorou ( $P < 0,03$ ) a conversão alimentar (CA).

Adicionalmente, o autor verificou, para suínos de 28 a 60 kg de peso vivo, que os valores médios de CR e CA entre as dietas, que continham milho com partículas de 799 a 1026  $\mu\text{m}$  foram maiores em 8,7 e 5,8 %, respectivamente, em relação aos valores médios entre as dietas compostas por milho com partículas de 509 e 645  $\mu\text{m}$ ; para suínos de 28 a 100 kg de peso vivo, estas diferenças foram mais acentuadas, 11,5 e 9,0 %.

Monticelli (1994), avaliando a granulometria do milho na dieta (542 e 998  $\mu\text{m}$ ), observou que os suínos submetidos ao tratamento com partículas mais finas obtiveram maior ( $P < 0,05$ ) ganho total de peso diário (GTPD) (733g versus 672 g) e maior CR (2256 versus 2156g), bem como melhor CA (3,07 versus 3,22) do que aqueles alimentados com partículas mais grossas.

Vários estudos têm relacionado a granulometria de ingredientes ao desempenho de frangos de corte. Segundo alguns autores, a variação no DGM, de 500 a 1000  $\mu\text{m}$ , nas partículas do milho nas dietas não tem influenciado o desempenho em frangos de corte (Reece et al., 1986; Butolo et al., 1987; Lott et al., 1992; Zanotto et al., 1994).

No entanto, Lott et al. (1992) observaram redução no ganho de peso e redução do CA de frangos (1 – 21 dias de idade), quando forneceram dieta contendo milho moído (moinho de martelos) com DGM de 1196  $\mu\text{m}$  em relação ao DGM de 716  $\mu\text{m}$ . De 1 a 42 dias de idade, a combinação dos DGMs 1196 e 716  $\mu\text{m}$ , dieta inicial e final, respectivamente, resultou em menor ganho de peso em relação à combinação dos DGMs 710 e 716  $\mu\text{m}$ .

Klinger-Cardoso (1990) concluiu que o milho moído em moinho de martelos com peneira de 12,0 mm de abertura, pode ser utilizado em dietas de frangos de corte, desde o primeiro dia de idade, sem prejuízo para o desempenho final das aves, em relação à moagem com peneiras de 4,0 e 8,0 mm de abertura.

Nir et al. (1994) processaram o milho em moinho de martelos com peneira de 8,0 mm e obtiveram DGM de 1102. O produto foi peneirado, obtendo-se duas categorias de partículas: DGM 2010 e 897  $\mu\text{m}$ . De 1 a 7 dias de idade, as aves que receberam dieta com 897 e 1102  $\mu\text{m}$  apresentaram melhor ganho de peso, em comparação com as aves alimentadas com dieta contendo milho com DGM de 2010  $\mu\text{m}$ . De 8 a 21 dias, a dieta mais fina resultou em maior ganho de peso e melhor Engenharia Agrícola, em relação às demais dietas.

Em suínos, reconhecem-se dois tipos de úlcera estomacal: a úlcera péptica, que afeta a região glandular (fúndica, cárdica e pilórica) e a úlcera esofagogástrica, que ocorre na região não glandular (O'Brien, 1992). A região esofagogástrica (RE) do estômago é reconhecidamente um local de alta vulnerabilidade à ulceração. A etiologia da úlcera na RE parece ser complexa e multifatorial. Dentre os fatores, a alimentação com grãos finamente moídos tem sido frequentemente associada (Zanotto, 1995).

Desta forma, pode se concluir que: (i) o uso do diâmetro geométrico das partículas (DGM),

como variável caracterizadora da granulometria de ingredientes, viabiliza o relacionamento dessa à resposta animal; (ii) a eficiência de moagem piora com a redução no DGM das partículas dos alimentos; (iii) a digestibilidade das dietas e o desempenho dos suínos melhoram com a diminuição do DGM do milho e do sorgo, sendo que, para o milho, os melhores resultados parecem ser produzidos quando a DGM situa-se entre 500 e 650  $\mu\text{m}$ ; e (iv) a utilização de milho com DGM das partículas acima de 1000  $\mu\text{m}$  causa efeito detrimental no desempenho de frangos de corte (Zanotto, 1995).

Segundo Boloni, 1980, citado por Conceição et al., 1987, a moagem de grãos agrícolas através de moinhos de martelos demanda um alto consumo de energia, sendo que, na Hungria, eles consomem cerca de 11 a 12 % do total da energia absorvida na agricultura.

Pozza et al. (2005) estudaram 10 moinhos de martelo e encontraram: (i) crivos de peneiras variando de 1,44 a 3,28 mm; (ii) número de martelos de 15 a 48; (iii) potência de motores elétricos de 3,86 a 38,6 kW; (iv) taxa de moagem variando de 0,4 a 2,1 t h<sup>-1</sup>; (v) consumo específico de energia elétrica variando de 6,13 a 20,03 kWh t<sup>-1</sup>; e (vi) DGM variando de 464 a 912  $\mu\text{m}$ . Observa-se que o consumo específico de energia é alto, devido à utilização de peneiras cujos crivos têm pequeno diâmetro.

O rendimento dos motores elétricos está ligado às condições de funcionamento dos motores e de seu correto dimensionamento, apresentando bom funcionamento, quando estão trabalhando de acordo com as indicações do fabricante (TEIXEIRA, 2002; WEG, 2000). O rendimento do motor elétrico é um indicador do sistema ao qual o mesmo está inserido. Os motores de baixa potência (< 7,36 kW (10 cv)) têm, normalmente, baixo rendimento, enquanto os motores de maior potência têm um alto rendimento. Existem motores do tipo padrão e de alto rendimento, sendo recomendada a utilização dos motores de alto rendimento.

Portanto, este trabalho teve como objetivo comparar a relação entre a granulometria do milho moído, o consumo de energia elétrica e a digestibilidade dos animais, que consumirão esta ração produzida.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fábrica de Ração e nos Laboratórios de Energia na Agricultura e Pré-Processamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola e de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa.

A fábrica de ração da Universidade Federal de Viçosa, (Figura 1) tem uma capacidade de 6,0 toneladas por hora e está equipada com: (i) sistema de dosagem automática para cinco elementos, sendo o restante dosado no pré-misturador; (ii) sistema de mistura, ensaque e expedição a granel e peletizado; e (iii) moagem de granulados.

O sistema de expedição é a granel ou ensacado. O tipo de moinho utilizado é o de martelos, com as seguintes características técnicas: (i) fabricante Buhler; (ii) crivos circulares com diâmetro igual a 4 mm; (iii) área de peneiras igual 0,465 m<sup>2</sup>; (iv) número de martelos igual a 12; e (v) capacidade nominal de processamento igual a 4 t h<sup>-1</sup>.

A massa específica do milho determinada, utilizando-se balança de peso hectolítrico com capacidade de 250 mL. Foram feitas três repetições, para cada determinação.

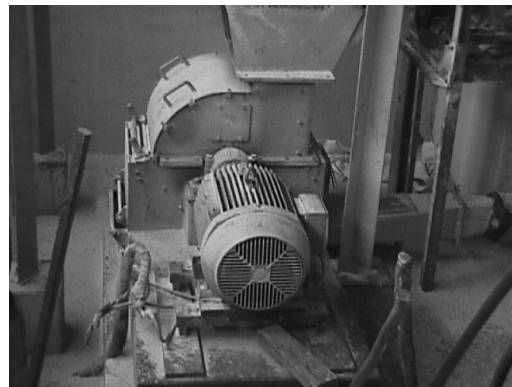
A determinação do teor de água foi feita, adotando-se uma estufa de circulação forçada, regulada para uma temperatura de 105° ± 3° C, por 24 h (BRASIL, 1992).

Antes da entrada no moinho, pesou-se a massa de milho a ser moída e cronometrou-se o tempo, para a moagem dessa massa. No processo de moagem, mediu-se a potência, tensão, corrente e fator de potência, mínima e máxima trifásicos do conjunto motor elétrico – moinho com um wattímetro alicate digital. O experimento foi realizado com três repetições para cada tipo de peneira. As peneiras do moinho apresentavam crivos circulares, sendo uma de 4 mm de diâmetro e a outra 8 mm.

Para a adequação de força motriz, foi feita a avaliação do índice de carregamento e do rendimento do motor na condição efetiva de trabalho. A determinação do rendimento via medição da corrente elétrica foi utilizada, por ser a mais simples. De posse da corrente elétrica do motor trabalhando a plena carga e seus dados de placa, determinou-se o índice de carregamento (IC), via curva característica de corrente. Com o IC, determina-se o rendimento via a curva característica de rendimento (WEG, 2000; PROCEL, 1998).

Para cada situação, foram analisados os dados de entrada da análise econômica, tais como: número de horas anual de funcionamento, vida útil, taxa de juros, taxa de inflação no horizonte de planejamento e preço da tarifa de consumo de energia elétrica.

Para a análise econômica da racionalização do uso de força motriz, utilizou-se parâmetros econômicos, tais como a Taxa interna de retorno (TIR), Valor presente líquido (VPL), Relação benefício-custo (RBC) e Taxa de retorno do capital (TRC).



**Figura 1.** Fábrica de ração da UFV e motor principal do moinho

A determinação do diâmetro geométrico médio (DGM) foi feita, de acordo com a metodologia apresentada por Zanotto e Bellaver (1996). Para a determinação do DGM, foi necessária a utilização de: (i) equipamento vibrador de peneiras; (ii) conjunto de peneiras ABNT, números: 5, 10, 16, 30, 50, 100 e fundo, correspondendo às seguintes aberturas de malhas: 4; 2; 1,20; 0,60; 0,30; 0,15 e 0 mm, respectivamente; (iii) balança com precisão de 0,1g; (iv) estufa para 105°C; (v) pincéis para limpeza das peneiras; e (vi) bandeja com capacidade de 1kg. Adotou-se os seguintes parâmetros técnicos para a realização da determinação do DGM. No moinho, a amostragem dos ingredientes para determinação da granulometria seguiu os seguintes passos: (i) após a moagem, retirou-se subamostras de vários pontos do lote moído, de modo a constituir uma amostra de aproximadamente 1 kg de fubá; e (ii) a amostra foi embalada em saco plástico, identificada e reservada para as análises laboratoriais. No laboratório, adotou-se o seguinte procedimento: (i) homogeneização da amostra na própria embalagem ou em saco maior; (ii) foi tomada uma amostra de aproximadamente 0,5 kg e colocada em bandeja para secagem; (iii) secagem da amostra em estufa à temperatura de 105°C durante 24 horas; (iv) retirada da bandeja que estava na estufa e espera de um período de tempo para equilíbrio da temperatura da amostra com a do ambiente (aproximadamente 2 horas); (v) foram pesadas, individualmente, as peneiras e anotadas suas respectivas massas (P<sub>i</sub>); (vi) montou-se o conjunto de peneiras sobre o equipamento vibrador, sobrepondo-as em ordem crescente de abertura das malhas; (vii) pesou-se, em duplicata, aproximadamente 200g da amostra (P) e foi transferido para o topo do conjunto de peneiras; (viii) colocou-se a tampa e prendeu-se, firmemente, o conjunto de peneiras ao

equipamento vibrador; (ix) ajustou-se o reostato do equipamento na posição 8 e realizou-se o peneiramento, durante 10 minutos; (x) pesou-se, individualmente, as peneiras com as respectivas frações retidas e anotou-se o peso (P<sub>i</sub>2). Depois, limpou-se as peneiras para a próxima análise, utilizando pincéis; (xi) calculou-se o peso da fração do ingrediente retido em cada peneira (PR<sub>i</sub>); (xii) calculou-se a percentagem do ingrediente retido em cada peneira (%R). A %R foi multiplicada por fatores convencionados e constantes, que decrescem de seis a zero com o decréscimo dos furos das peneiras. Para determinar o Índice de uniformidade (IU), somou-se os valores de %R das peneiras grossas, médias e finas. Esses valores corresponderam ao percentual de partículas grossas, médias e finas. O módulo de finura (MF) foi dado pelo cálculo do produto total obtido, dividido pelo total retido; (xiii) o DGM segundo a equação de Handerson e Perry (1955).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa específica média para o milho moído em moinho de martelos foi de 753,57 kg m<sup>-3</sup>. No Quadro 1, apresentam-se os valores da determinação do teor de água para as amostras de milho e fubá moído no moinho de martelos.

De acordo com o Quadro 1, o teor de água inicial do milho moído no moinho a martelos foi igual a 12,69% b.u..

No Quadro 2, apresentam-se os dados nominais do motor elétrico da fábrica de ração. A potência do motor elétrico do moinho é de 36,8 kW (50 cv). O motor elétrico é do tipo padrão, acarretando um índice de rendimento inferior a um motor de mesma potência do tipo alto rendimento.

**Quadro 1.** Valores da determinação do teor de água para as amostras de milho e fubá moído no moinho de martelos

Amostra	Teor de água médio, % b.u.
milho	12,69%
fubá – peneira de 4 mm	13,66%
fubá – peneira de 8 mm	13,54%

**Quadro 2.** Dados nominais do motor e do moinho da fábrica de ração

Equipamento	Motor principal do moinho (Peneira fina)	Motor principal do moinho (Peneira grossa)
Local de funcionamento	Fábrica de ração	Fábrica de ração
Fabricante	WEG	WEG
Pólos	2	2
Fator de serviço (F.S.)	1,15	1,15
Categoria (Cat.)	N	N
Potência (cv)	50	50
Classe isolamento	B	B
Corrente nominal (A)	125 / 72	125 / 72
IP / IN	8	8
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380
Data de fabricação	Julho/1985	Julho/1985
Número de fases	3	3
Rotação nominal	3560	3560
Padrão ou Alto rendimento	Padrão	Padrão
Produtividade do moinho ( $\text{kg min}^{-1}$ )	Massa moída = 42,84	Massa moída = 61,24
Sistema de partida	Chave compensadora	Chave compensadora

**Quadro 3.** Consumo específico de energia e capacidade de produção do moinho com a peneira de 4 mm

Fator de potência (adm)		1ª Repetição	2ª Repetição	3ª Repetição	Média
$fp_{\text{máximo}}$	=	0,94	0,99	0,99	0,78
$fp_{\text{mínimo}}$	=	0,72	0,53	0,50	
Potência ativa (kW)					
$P_{\text{máxima}}$	=	14,40	18,20	17,80	13,32
$P_{\text{mínima}}$	=	10,20	9,60	9,70	
Corrente (A)					
$I_{\text{máxima}}$	=	161,70	162,80	163,10	126,48
$I_{\text{mínima}}$	=	85,90	95,00	90,40	
Tensão (V)					
$V_{\text{máxima}}$	=	127,50	127,40	127,60	127,00
$V_{\text{mínima}}$	=	126,60	126,50	126,50	
Tempo de moagem (min)	=	19,00	17,50	17,00	
Massa de produto (kg)	=	1000,00	990,00	1020,00	
Capacidade de produção do moinho ( $\text{t h}^{-1}$ )	=	3,16	3,39	3,60	3,38
Consumo específico de energia ( $\text{kWh t}^{-1}$ )	=	3,28	4,10	3,82	3,73

No Quadro 3, apresenta-se o consumo específico de energia e capacidade de produção do moinho, com a peneira de crivos circulares de 4 mm. Foram medidos, também, o fator de potência máximo e mínimo, a potência ativa máxima e mínima, a corrente elétrica e a tensão máxima e mínima demandadas da rede da concessionária de energia elétrica, apresentados no período de medição, e o tempo de moagem dos testes.

De acordo com o Quadro 4, a capacidade de produção média de fubá do moinho com a peneira de 8 mm foi de 3,61 t h<sup>-1</sup>. O consumo de energia elétrica médio seria de 404,80 kWh mês<sup>-1</sup>, durante um período de funcionamento de 2 h dia<sup>-1</sup>, considerando-se 22 dias no mês e o volume de fubá moído seria de 158,84 t, nesse mesmo período. O consumo específico de energia médio do moinho foi igual a 2,48 kWh t<sup>-1</sup>. Portanto, o consumo de energia elétrica do moinho com a peneira de 8 mm, para esta situação, seria 31% menor (185,30 kWh) que o moinho com a peneira de 4 mm e a produção de fubá seria 6,4 % (10,12 t) maior, em média.

O consumo específico de energia do moinho com a peneira de 8mm foi de cerca de 30%

inferior a situação em que foi utilizada a peneira de 4 mm.

Considerando-se parâmetros relativos racionalização do uso de energia elétrica, a adoção da peneira de 8 mm é justificada, porque: (i) consumiria menos energia elétrica da rede; (ii) moeria uma maior quantidade de milho, em comparação com o moinho com a peneira de 4 mm; (iii) a corrente demandada da rede cairia, drasticamente, pois, a corrente nominal do motor é de 125 A e o fator de serviço do motor elétrico é de 1,15 e a corrente média do conjunto motor elétrico-moinho (peneira de 4 mm) foi de 126,48 A, com picos de 160 A, o que poderia danificar o isolamento do motor elétrico, reduzindo sua vida útil, pois, nem mesmo com a utilização da potência extra do fator de serviço, o motor conseguiria atender à demanda de potência solicitada pelo moinho. Já o conjunto motor elétrico- moinho (peneira de 8 mm) a corrente demandada média da rede foi de 89,29 A, com picos de 102 A, nesta situação o motor não seria danificado pois, a corrente elétrica demandada pelo motor não ultrapassou a corrente nominal do motor elétrico em nenhum instante.

**Quadro 4.** Consumo específico de energia e capacidade de produção do moinho com a peneira de 8 mm

Fator de potência (%)		1ª Repetição	2ª Repetição	3ª Repetição	Média
f <sub>p</sub> máximo	=	0,97	0,97	0,99	0,85
f <sub>p</sub> mínimo	=	0,70	0,75	0,71	
Potência ativa (kW)					
P máxima	=	10,10	10,10	10,30	9,20
P mínima	=	8,10	8,40	8,10	
Corrente (A)					
I máxima	=	95,60	101,80	100,20	89,29
I mínima	=	76,30	82,90	78,90	
Tensão (V)					
V máxima	=	127,80	127,20	127,50	127,3
V mínima	=	127,20	127,00	127,10	
Tempo de moagem (min)	=	12,00	11,10	10,60	
Massa de produto (kg)	=	740,00	670,00	670,00	
Capacidade de produção do moinho (t h <sup>-1</sup> )	=	3,70	3,62	3,50	3,61
Consumo específico de energia (kWh t <sup>-1</sup> )	=	2,46	2,55	2,43	2,48

No Quadro 5, apresentaram-se os dados de entrada para análise de vida útil do motor elétrico para as duas condições de uso de peneiras, uma com crivos de 4mm e a outra 8 mm.

De acordo com o Quadro 5, pôde-se estimar os custos de energia elétrica com a utilização das duas peneiras com crivos diferentes. Com a

adoção da peneira de 4mm, o custo anual com energia elétrica foi igual a R\$ 14.374,72, enquanto para a peneira de 8mm foi igual a R\$ 9.870,37. Desta forma, o índice de carregamento médio seria de 72%, a economia anual com custo de energia elétrica seria igual a R\$ 4.504,35.

**Quadro 5.** Dados de entrada para análise de vida útil do motor elétrico para as duas condições de uso de peneiras, uma com crivos de 4mm e a outra 8 mm

	Unidade	Motor STD	Motor STD
Diâmetro dos crivos das peneiras	mm	4	8
Potência	kw	36,8	36,8
Índice de carregamento	%	106	72
Rendimento	%	92	91
Preço do motor	R\$	2.152,55	2.152,55
Horas de funcionamento anual	h ano <sup>-1</sup>	528	528
Juros	% ano <sup>-1</sup>	8	8
Valor de sucata	% do novo	20	20
Custo unitário da tarifa de consumo de energia elétrica	R\$ kWh <sup>-1</sup>	0,30	0,30
Custo unitário da tarifa de demanda de energia elétrica	R\$ kW <sup>-1</sup>	15,00	15,00
Aumento da energia acima da inflação	% ano <sup>-1</sup>	2	2
Manutenção	%	1	1
Horizonte de planejamento	anos	10	10
Consumo anual	kWh ano <sup>-1</sup>	22.428,64	15.400,58
Gasto referente ao consumo de energia elétrica	R\$ ano <sup>-1</sup>	6.728,59	4.620,17
Custo de manutenção	R\$ ano <sup>-1</sup>	21,53	21,53
Gasto referente a demanda de energia elétrica	R\$ ano <sup>-1</sup>	7.646,13	5.250,20
Gasto coma a fatura de energia elétrica	R\$ ano <sup>-1</sup>	14.374,72	9.870,37

No Quadro 6, apresenta-se o resultado da análise econômica de vida útil dos motores elétricos da comparação de custos do moinho equipado com a peneira de 4 mm ou com a peneira de 8 mm.

De acordo com os dados apresentados no Quadro 6, comparando-se o motor do moinho com a utilização da peneira fina, diâmetro igual a 4 mm e com a utilização da peneira grossa, diâmetro igual a 8 mm, é

recomendada a substituição da peneira do moinho de 4 mm pela peneira de 8 mm. Para a análise de vida útil do motor elétrico desta substituição, obteve-se o Valor Presente Líquido igual a R\$ 32.837,98 na vida útil do projeto; a Taxa Interna de Retorno igual a 921%, muito superior a taxa de juros adotada na análise de vida útil; a Relação Benefício/Custo igual a 66 vezes e um Tempo de Retorno de 2 meses.



**Quadro 6.** Valores dos índices econômicos para análise de vida útil do moinho com a adoção de peneiras de crivos circulares de 4 e 8 mm

Índices econômicos	Opção estudada
	Adoção de peneiras de crivos circulares de 4 versus a de 8 mm
VPL (R\$)	32.837,98
TIR (%)	921
R. B/C	66
TRC	imediate

No Quadro 7, apresenta-se o diâmetro geométrico médio do milho moído, produzido no moinho de martelos com a utilização de peneira de crivos circulares de 4mm e de 8mm. É mostrado, também, o índice de uniformidade do fubá, fornecendo as partições fina, média e grossa.

De acordo com os dados apresentados no Quadro 7, o DGM do milho moído com a utilização do moinho de martelos, com a peneira de 4mm, foi igual a 521,07  $\mu\text{m}$ . Com a utilização da peneira de 8mm, o DGM foi igual a 665,67  $\mu\text{m}$ .

De acordo com os pesquisadores que estudaram a relação entre o DGM (Handerson & Perry, 1995) e; os coeficientes de digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta, energia digestível e energia metabolizável da dieta, com valores de matéria seca (WU et al., 1989); o efeito do processamento do milho em moinho de martelos (Zanotto et al., 1994); o desempenho de suínos em crescimento-terminação (Perry, 1973; Hsu et al., 1985; Wu & Cheng, 1988; Zanotto, 1992); a granulometria do milho (542 e 998  $\mu\text{m}$ ) na dieta de suínos; o desempenho de frangos

de corte (Reece et al., 1986; Butolo et al., 1987; Lott et al., 1992; Zanotto et al., 1994); o milho moído em moinho de martelos quando utilizados em dietas de frangos de corte (Klinger-Cardoso, 1990); as dietas de aves em diferentes estágios de crescimento (Nir et al., 1994); a possibilidade de desenvolvimento de úlcera estomacal em suínos devido a alimentação com grãos finamente moídos (O'Brien, 1992); verificou-se que, a utilização de milho moído, com o uso de peneira com crivos circulares de 4 mm, obtendo-se um DGM igual a 521,07  $\mu\text{m}$  e a utilização da peneira de 8mm com DGM igual a 665,67  $\mu\text{m}$  não diferiram significativamente no desempenho dos animais estudados, quanto ao ganho de peso, conversão alimentar, consumo de ração, entre outros. Desta forma, a substituição da peneira de crivo circular de 4mm que é utilizada atualmente na fábrica de ração da Universidade Federal de Viçosa por uma peneira de 8mm proporcionaria economia de energia elétrica, aumento da capacidade de processamento e preservação da vida útil do motor elétrico, sem afetar o desempenho dos animais que consumirão este milho moído.

**Quadro 7.** Diâmetro geométrico médio do milho moído produzido no moinho com a utilização da peneira de crivos circulares de 4mm e com a utilização da peneira de 8mm

Diâmetro das peneiras (mm)	4	8
DGM ( $\mu\text{m}$ )	521,07	665,67
Índice de uniformidade do fubá		
Particulado fino (%)	2,05	4,24
Particulado médio(%)	37,56	47,13
Particulado grosso(%)	60,35	49,36

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foram realizados os testes, pode-se concluir que:

- A moagem de grãos com a peneira grossa (8 mm) apresentou menor consumo de energia e maior vazão mássica do que a peneira fina;
- O consumo de energia elétrica médio mensal do moinho, utilizando a peneira de 8 mm e considerando-se um período de funcionamento de 2 h dia<sup>-1</sup>, seria 31% menor (185,3 kWh) que o moinho com a peneira de 4 mm e a produção de fubá seria 6,4% (10,12 t) maior, em média;
- A adoção da peneira de 8 mm é justificada por critérios relacionados à energia elétrica, porque: (i) consome menos energia elétrica da rede; (ii) moeria uma maior quantidade de milho, em comparação ao moinho com a peneira de 4 mm; e (iii) reduziria, drasticamente, a corrente demandada da rede, não danificando o motor elétrico, pois, a corrente nominal do motor elétrico não seria atingida;
- Comparando o motor do moinho com a utilização da peneira fina (d = 4 mm) e a peneira grossa (d = 8 mm), seria melhor a substituição da peneira do moinho de 4 mm pela peneira de 8 mm. Desta forma, o índice de carregamento médio do motor elétrico seria de 72%, com um rendimento médio de 90,84%, enquanto a economia anual com gastos de energia elétrica seria de R\$ 4.504,35. Para a análise de vida útil do motor elétrico teria: VPL igual a R\$ 32,837.98; TIR igual a 921 %; R. B/C igual a 66 vezes e um TRC imediato;
- O DGM pela moagem de grãos de milho, utilizando-se peneiras de crivos circulares de 4mm e 8 mm, foi igual a 521,07 µm e 665,67 µm, respectivamente; e
- A substituição da peneira de crivo circular de 4mm pela peneira de 8mm pode proporcionar economia de energia, otimizar a capacidade de moagem e preservar a vida útil do motor elétrico, sem afetar o desempenho dos animais, que consumiram

esse milho moído, baseado na análise do DGM do milho moído nas peneiras com crivos circulares de 4 e 8mm.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BUTOLO, J.E.; ARIKI, J.; PINTO, R.A.; MARUJO, J.M.; CURTARELLI, S. Efeitos causados pela granulometria inadequada em milho para rações de frangos de corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AVICULTURA, 10, 1987, Natal. **Anais...** Natal, UBA, 1987. p.93-94

CONCEIÇÃO, E. P. **Níveis de vazão de alimentação de moinhos a martelos no processamento de alguns produtos agrícolas**. Botucatu: UNESP, 1987. 138p. (Tese de Doutorado)

HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L. **Agricultural process engineering**. New York: John Wiley and Sons, 1955. 402p.

HSU, A.; YANG, Y.F.; LIAO, C.W. Effect of particle size of corn and physical form of diet on performance in growing-finishing pigs. **Journal of Chinese Society Veterinary Science**, v.14, n.3-4, p.47-54, 1985.

KLINGER-CARDOSO, M. **Os efeitos da granulometria do milho e formas de ração, no desempenho de frangos de corte**. Piracicaba: USP, 1990. 94p. (Dissertação de Mestrado).

LOTT, B.D.; DAY, E.J.; DEATON, J.W.; MAY, J.D. The effect of temperature, dietary energy level, and corn particle size on broiler performance. **Poultry Science**. v.71, n.4, p.618-624, 1992.

- MONTICELLI, C.J. **Efeito da granulometria do milho, associada à área por animal, sobre o desempenho e lesões gástricas de suínos, nas fases de crescimento e terminação.** Piracicaba: USP, 1994. 62p. (Dissertação de Mestrado).
- NIR, I.; SHEFET, G.; AARONI, Y. Effect of grain particle size on performance. 2. Corn. **Poultry Science**. v.73, p.45-49, 1994.
- O'BRIEN, J.J. Gastric ulcers. In: LEMAN, A.D.; STRAW, B.; GLOCK, R.D.; MENGELING, W.; PENNY, R.H.C.; SCHOLL, E. (eds). **Diseases of swine**. Iowa: Iowa State University, 1992, p.681-691.
- OLIVEIRA, P.A.V. de; MARTINS, R.R.; LIMA, G.J.M.M. de; FIALHO, F.B. Avaliação de sistemas de armazenagem e equipamentos para a produção de rações em pequenas propriedades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, Londrina. **Anais...** Londrina, SBEA, 1991. p.1589-1602
- PERRY, T.W. Grain processing: its effect on nutritive value and on development of ulcers in swine. In: EFFECT OF PROCESSING ON THE NUTRITIONAL VALUE OF FEEDS, 1973. Washington, DC. **Proceedings...** Washington, DC, National Academy of Science, 1973, p.356-372.
- POZZA, P. C.; POZZA, M. S. dos S.; RICHART, S.; Oliveira, F. G. de; GASPAROTTO, E. S.; SCHLICKMANN, F. Avaliação da moagem do milho e consumo de energia no processamento em moinhos de martelos. **Ciência Rural**, v.35, n.1, p.235-238, 2005.
- PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO AO COMBATE DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **MOTOR DE ALTO RENDIMENTO - GUIA TÉCNICO.** PROCEL. Motor de alto rendimento. Guia técnico. Rio de Janeiro: v.1, 1998. 18p.
- REECE, F.N.; LOTT, B.D.; DEATON, J.W. Effects of environmental temperature and corn particle size on response of broilers to pelleted feed. **Poultry Science**. v.65, n.4, p.636-641, 1986.
- TEIXEIRA, C. A. **Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 155p. (Dissertação Mestrado).
- WEG S.A. Catálogo Eletrônico 2000; Jaraguá do Sul. <http://www.weg.com.br>
- WU, J.F.; CHENG, C.S. The effect of particle size of dry rolling of corn on energy efficiency and performance of growing-finishing pigs. **Journal of Agricultural Association Chinese**, v.144, n., p.77-84, 1988.
- WU, J.F.; LIN, J.H.; CHENG, C.S. Hammermill versus roller mill processing for pigs. II. The effects of particle size of different methods of corn diets on apparent digestibilities, the rate of passage, and the incidence of gastric ulcers for growing-finishing pigs. **Journal of Agricultural Association Chinese**, v.146, p.59-68, 1989.
- ZANOTTO, D.L.; BELLAVER, C. Comunicado Técnico 215 - **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves.** Concórdia: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – CNPSA, p.1-5, 1996.
- ZANOTTO, D.; MONTICELLI, C.; MAZZUCO, H. Implicações da granulometria de ingredientes de rações sobre a produção de suínos e aves. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS E AVES., 1995, Campinas. **Anais...** Campinas, Colégio Brasileiro de Nutrição Animal (CBNA), 1995.p.111-134.
- ZANOTTO, D.L. **Granulometria do milho em rações para suínos em crescimento e terminação. Digestibilidade, desempenho e alterações gástricas.** Porto Alegre: UFRGS, 1992. 106p. (Dissertação de Mestrado).
- ZANOTTO, D.L.; ALBINO, L.F.T.; BRUM, P.A.R.; FIALHO, F.B. Efeito do grau de moagem no valor energético do milho para frangos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 23, 1994, Maringá. **Anais...** Maringá: Ed. Univ. Estadual de Maringá, 1994. p.57.