



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção

**Estudo de Desempenho de Moinhos a Martelo em Indústria
de Ração Animal**

Fernando Virgilio de Oliveira

TCC-EP-23-2007

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção

**Estudo de Desempenho de Moinhos a Martelo em Indústria
de Ração Animal**

Fernando Virgilio de Oliveira

TCC-EP-23-2007

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de
Engenharia de Produção, do Centro de Tecnologia, da
Universidade Estadual de Maringá – UEM.
Orientador (a): Prof.^(a):Wagner André S. Conceição

**Maringá – Paraná
2007**

Fernando Virgilio de Oliveira

**ESTUDO DE DESEMPENHO DE MOINHOS A MARTELO EM
INDÚSTRIA DE RAÇÃO ANIMAL**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de *Bacharel em Engenharia de Produção*, pela Universidade Estadual de Maringá, Campus de Maringá, aprovada pela Comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Wagner A. Santos Conceição
Departamento de Engenharia Química, DEQ

Prof. Reginaldo Luiz de Almeida
Departamento de Engenharia de Produção, DEP

Maringá, outubro de 2007

"A verdadeira sabedoria consiste em saber como aumentar o bem-estar do mundo." (Benjamin Franklin)

RESUMO

A racionalização do uso de energia na produção de ração é sem dúvida um dos fatores determinantes na maximização do lucro. O milho participa da composição das rações com índices de 65% a 80%, o que representa, aproximadamente, 40% do custo de produção de suínos e de aves. Desta forma foi realizado um estudo com o objetivo de avaliar a granulometria do milho e a potência de motor adequada requerida na moagem para uma capacidade padrão de 2700 kg/h de uma indústria de ração localizada na cidade de Maringá/Pr. Fez-se a avaliação de potência de motor necessária através de simulação pelo software MatLab .O resultado obtido foi que para a faixa de Diâmetro Geométrico Médio (DGM) utilizado na produção a potência de motor instalada é praticamente 25% superior à necessária e a redução no gasto com energia seria aproximadamente de 70% e 40% para as potências simuladas pela Lei de Rittinger e Kick respectivamente.

Palavras – Chave: Racionalização, Custo de produção, Simulação.

SUMÁRIO

RESUMO	v
SUMÁRIO	vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO	3
3 REVISÃO DA LITERATURA	4
4 ESTUDO DO PROCESSO DE MOAGEM	6
4.1 SETOR DE RECEBIMENTO A GRANEL.....	6
4.2 CARACTERÍSTICAS DO MOINHO DE MARTELOS.....	7
4.3 A OPERAÇÃO DE MOAGEM.....	9
4.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MILHO	10
4.5 GRANULOMETRIA.....	11
4.6 CARACTERIZANDO O GRAU DE MOAGEM	12
4.7 INFLUÊNCIA DA MOAGEM	13
4.8 CUSTO DE MOAGEM	13
5 METODOLOGIA	13
6 RESULTADOS	15
7 CONCLUSÕES	20
GLOSSÁRIO.....	21
REFERÊNCIAS	22
ANEXOS.....	25

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: ESQUEMA DE MONTAGEM DE UM MOINHO DE MARTELO	7
FIGURA 2: LINHA DE MOAGEM COM SISTEMA DE ASPIRAÇÃO POR FILTROS DE MANGAS.....	8
FIGURA 3: MOINHO DE MARTELO.....	9
FIGURA 4: LOCALIZAÇÃO DO PERICARPO, ENDOSPERMA FARINÁCEO, ENDOSPERMA VÍTREO E DO GERME NO GRÃO DE MILHO.....	10
FIGURA 5: INTERFACE DO PROGRAMA NO SOFTWARE MATLAB.....	17
FIGURA 6: DIÂMETRO DE SAÍDA POR POTÊNCIA REQUERIDA.....	18

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: LEGENDA DA FIGURA 2.....	8
TABELA 2: DADOS NOMINAIS DO MOTOR.....	15
TABELA 3: CONSTANTES DE KICK E RITTINGER.....	16

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DGM	Diâmetro Geométrico Médio
IC	Índice de Carregamento
P	Potência
U	Tensão da Rede
I	Corrente Elétrica
RPM	Rotações Por Minuto
η	Rendimento
$\cos\varphi$	Fator de Potência
C	Capacidade de Produção
D_1	Diâmetro inicial de entrada
D_2	Diâmetro de saída
W	Sigla de Potencia em Inglês
K	Constante Função do Tipo de Máquina e Material

1 INTRODUÇÃO

Moagem é uma operação unitária de redução de partículas de um ingrediente objetivando melhorar a capacidade de homogeneização na mistura ou aumentar a disponibilidade de seus nutrientes.

Para Perry et al (1918) uma grande variedade de equipamentos pode ser encontrada. As razões principais para a falta da padronização são a variedade dos produtos a serem moídos e das exigências de qualidades do produto por diferentes indústrias no contrapeso econômico entre o custo de investimento e o custo de operação.

De acordo com GOMIDE (1983) a importância maior da operação de moagem é garantir um excelente grau de mistura entre dois ou mais ingredientes sólidos e quanto menor for o tamanho das partículas maior será a uniformidade do produto, assim para a fabricação de produtos que exijam alto índice de homogeneização a moagem fina dos ingredientes torna-se indispensável.

Dos vários tipos de moinhos existentes, o mais utilizado na indústria de alimentação animal é o moinho de martelos cujas principais razões são aumentar a relação superfície/volume, facilitar a manipulação de ingredientes, melhorar a característica de mistura dos materiais, facilitar o processo de peletização e extrusão e evitar que o animal rejeite certos ingredientes.

O grau de moagem é caracterizado de acordo com o tamanho das partículas e, em geral, se utiliza uma variável que é o diâmetro geométrico médio (DGM), o qual se correlaciona de forma positiva com o tamanho das partículas. Segundo Biagi (1998), a redução de tamanho dos grãos se inicia com a retirada das camadas externas e esta redução modifica as características físicas e pode melhorar os processos de mistura, peletização, manuseio e transporte.

Os moinhos de martelos têm sido preferencialmente utilizados, uma vez que possibilita o processamento de maior variedade de ingredientes (fibrosos) e permite a produção de moagens mais finas (<600 μ m) em relação ao moinho de rolos (MARTIN, 1988).

No entanto, as variações existentes entre as características dos moinhos podem influenciar a granulometria do milho processado em moinhos de martelos, devendo ser considerados o diâmetro dos furos da peneira, a área de abertura da peneira, a potência do motor, o número de martelos, distância entre os martelos e a peneira, a vazão de moagem, o teor de umidade do grão e o desgaste do moinho (MARTIN, 1988).

Para Klein (1999) problemas como deslocamento de peneiras ou até mesmo peneiras furadas podem ser constatados através de avaliações periódicas da granulometria em laboratório. Zanotto e Bellaver (1996) concluem que o consumo de energia elétrica nos equipamentos é determinado pelo tamanho das partículas, bem como o rendimento de moagem.

O assunto granulometria, na nutrição de aves, vem merecendo atenção por parte de produtores e nutricionistas. O tamanho, a forma e a estrutura das partículas de uma dieta irão influenciar a digestibilidade dos nutrientes, a dispersibilidade dos nutrientes na massa da dieta, a densidade da mesma, a qualidade dos peletes, a fluidez dos ingredientes no sistema de mistura, o transporte, o fornecimento da dieta nos comedouros e a energia consumida na moagem. A literatura mostra que moagens mais grosseiras de milho podem aumentar o rendimento em até 143%, com uma redução no consumo de energia elétrica de 61%, sem afetar a digestibilidade dos ingredientes da dieta nem o desempenho dos frangos de corte. (Zanotto et al., 1994; citado por Ribeiro et al., 2002). Desta forma a granulometria torna-se importante no consumo alimentar e na nutrição, uma vez que está diretamente relacionada com o desempenho animal e a redução do custo de produção (Ribeiro et al., 2002).

A industrialização e o crescimento econômico, associado às crescentes inovações tecnológicas dos últimos anos, vêm causando aumento substancial na demanda de energia elétrica. A falta de investimentos no setor visando à geração, transmissão e distribuição de energia, faz da racionalização do uso de energia elétrica uma ferramenta de apoio imprescindível ao crescimento sustentável do País.

Para Casp (1980) a racionalização do uso de energia na produção de ração é sem dúvida um dos fatores determinantes na maximização do lucro. Observa-se que a alimentação representa aproximadamente 75% do custo contínuo de um plantel, incluindo o custo de energia, enquanto 15% são custos relativos à depreciação e 10% referentes à mão-de-obra.

No Brasil, as rações de uma forma geral são formuladas a partir de milho, farelo de soja e suplementos vitamínicos e minerais, sendo que o milho representa cerca de 75% da composição das rações. As rações para suínos e aves são produzidas na forma farelada, peletizada ou triturada, de acordo com a espécie, a idade, o estágio evolutivo do animal e/ou o manejo de alimentação adotado. Portanto, os ingredientes que participam da ração necessitam sofrer algum processo prévio de moagem. Acredita-se que uma das formas possíveis de melhor viabilizar o setor possa ser por meio da geração de informações mais precisas sobre o grau de moagem do milho, que permitiria a escolha da granulometria que proporcionasse o melhor aproveitamento dos nutrientes (ZANOTTO et al., 1995).

Portanto, o estudo da racionalização do uso de energia é relevante em processos que utilizam a força motriz, como em instalações onde se processam as rações, utilizando-se motores elétricos. Em uma fábrica de ração existem vários motores em funcionamento, tais como os do sistema de moagem de granulados e do sistema de movimentação dos componentes, misturador e pré-misturador (Filho et al, 2004).

2 OBJETIVO

Determinar a potência necessária de operação de um moinho martelo de uma indústria de ração animal localizada na cidade de Maringá/PR, como estudo para diminuir o consumo de energia pelo moinho e diminuir a perda de material na forma de pó.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Latorre et al. (1990) em estudos sobre o uso de força motriz nas indústrias brasileiras, abrangendo cerca de 50.000 motores, concluíram que cerca de 50% dos motores operavam com índice de carregamento abaixo de 80%, ou seja, o percentual de energia mecânica demandada pela carga era, em 50% dos casos, inferior ao recomendado. Neste caso, para motores com partida sem carga são recomendados índices de carregamento entre 80 a 100%. Constatou-se, ainda, que cerca de 24,1% do total de motores analisados em nível nacional, estavam operando com 60% de carregamento, no máximo. Este estudo revelou que em alguns estados brasileiros 32,1% dos motores operam com até 60% da carga. Este fato caracteriza o grande potencial de racionalização do uso de energia elétrica no setor industrial brasileiro. Esta racionalização do uso de força motriz poderá ser alcançada por meio de uma difusão maior do uso de motores de alta eficiência e um dimensionamento correto de motores elétricos, pela realização de testes e emissão de certificados e avaliação de desempenho de máquinas agrícolas.

Em um trabalho realizado por Filho et al (2004) com o objetivo de racionalizar o consumo de energia elétrica numa fábrica de ração realizou-se um estudo de adequação de força motriz dos equipamentos em funcionamento onde fez-se a avaliação do índice de carregamento e do rendimento dos motores. Para adequação do uso de força motriz, consideraram-se substituições dos motores elétricos que estavam acoplados aos equipamentos, por motores de alto rendimento adequados e/ou com o número de horas de funcionamento anual maximizado. Com a adoção da metodologia, o potencial total estimado de economia com energia elétrica anual seria de 22,60%, caso fossem realizados o aumento do número de horas de funcionamento anual e a adequação de força motriz com o uso de motores de alto rendimento, adequando-se também às exigências eletromecânicas do moinho.

Pozza et al (2005) realizou um trabalho com o objetivo de avaliar a granulometria do milho, a taxa de moagem e o consumo de energia elétrica de moinhos de martelo e determinar as características dos moinhos que influenciam o diâmetro geométrico médio das partículas. O resultado obtido foi que a variação da taxa de moagem e consumo de energia elétrica pode ser devido às diferenças entre as características dos moinhos, do desgaste devido ao uso e da

potência dos motores que equipam os moinhos. A taxa de moagem e o diâmetro dos furos das peneiras apresentaram uma correlação positiva com o diâmetro geométrico médio, e a potência do motor e a área total da peneira uma correlação negativa.

Em um estudo feito por Teixeira et al (2005) similar ao de Filho et al (2004), o objetivo também era racionalizar o uso de energia elétrica de motores elétricos numa fábrica de ração que são utilizados principalmente na moagem e mistura de granulados e transporte através da adequação da força motriz desses equipamentos. A adequação de força motriz proporcionou um potencial de economia significativo chegando a uma redução de 23,9% do gasto atual com energia, mostrando-se uma ferramenta de fácil manuseio e de custo reduzido para ser implementada.

Ribeiro et al (2002) concluiu que DGM superiores a 0,337 mm não influenciam no desempenho, rendimento de carcaça e energia metabolizável da dieta, resultando em economia do consumo de energia e um menor custo de produção.

Em estudo a respeito do efeito da granulometria sobre o conteúdo energético do milho para frangos de corte Zanotto et al (1996) constatou que o consumo de energia elétrica diminuiu com o aumento do diâmetro dos furos das peneiras elevando o rendimento de moagem sem alterar o valor energético do milho.

Mazzuco et al (2002) avaliou os efeitos dos níveis de umidade e da temperatura de secagem do milho sobre sua composição química e constatou que as características químicas dos grãos de milho não foram alteradas quando submetidos a diferentes percentagem de umidade e diferentes temperaturas de secagem. Desta maneira conclui-se que a composição química do milho não influenciará no desempenho do moinho, portanto para efeito deste trabalho serão avaliadas apenas as características técnicas do moinho.

4 ESTUDO DO PROCESSO DE MOAGEM

Existem diversos fabricantes de moinhos de martelo no mercado, porém todas essas indústrias mantêm um padrão de similaridade na fabricação desses equipamentos e o processo de moagem na indústria segue um esquema básico.

4.1 Setor de Recebimento a Granel

As matérias-primas a granel (soja, milho, germen de milho) são trazidas por caminhões basculantes que descarregam o material em uma moega. No setor de recebimento a granel estão envolvidas as operações unitárias de transporte de sólidos e moagem onde são empregados os seguintes equipamentos:

- Moega
- Redler
- Elevador de canecas
- Silo
- Drag
- Moinho de martelos

Após terem sido descarregadas, o drag transporta a matéria-prima até o elevador de canecas que eleva a matéria-prima e através de uma válvula de distribuição é lançada nos silos correspondentes. O moinho está localizado logo abaixo dos silos para efetuar a moagem dos grãos e a alimentação é controlada pela abertura da comporta do respectivo silo efetuado pelo operador. O produto moído é retirado da câmara de descarga por uma rosca helicoidal e levado até outro elevador de canecas que eleva até a válvula distribuidora que faz a distribuição para os silos dosadores. O bom desempenho do moinho é bastante importante para garantir a qualidade do produto final, desta forma faz-se necessário um acompanhamento criterioso para avaliar a granulometria do produto moído.

4.2 Características do Moinho de Martelos

O moinho de martelo consiste basicamente de um rotor formado por vários discos montados em um eixo, apoiado sobre mancais e rolamentos. Os discos são interligados por pinos que suportam os martelos.

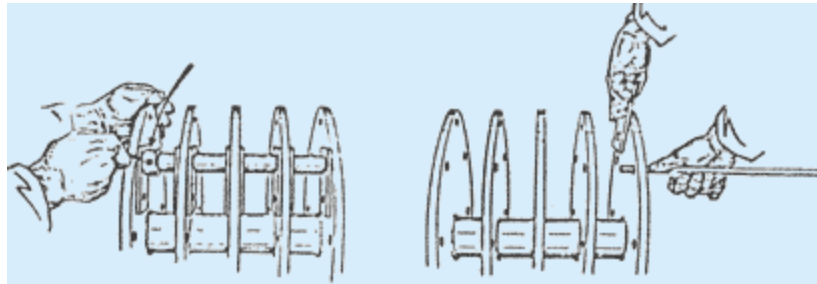


Figura 1: Esquema de montagem de um moinho de martelo

Fonte: Equipar Tecnologia Industrial

Para Gomide (1983) o britamento é feito predominantemente por impacto do material com os martelos e com as placas de britamento, mas o corte e o atrito também são importantes. O produto sai pelo fundo, onde há barras que formam uma grelha. Nos modelos menores as barras são substituídas por uma placa metálica perfurada.

Segundo Perry et al (1918) os martelos podem ser desenhados de tal forma que a rotação do motor pode ser invertida para promover um gasto simétrico nos martelos.

Gomide (1983) descreve que a granulometria do produto é determinada pela velocidade da máquina, tamanho dos martelos e pelo tamanho das aberturas das telas. A velocidade varia entre 500 e 1800 rpm.

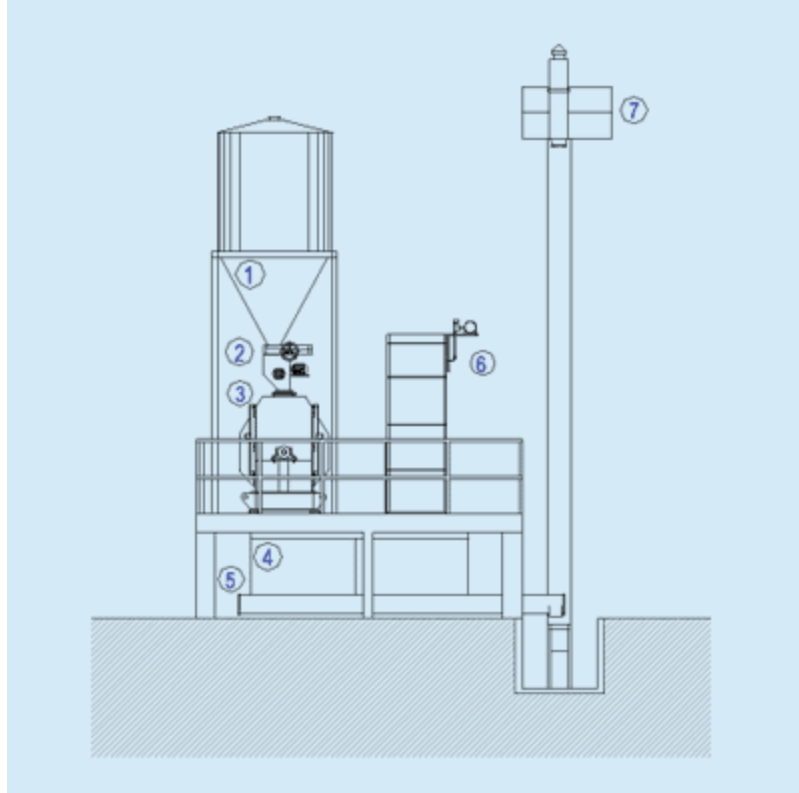


Figura 2: Linha de Moagem com Sistema de aspiração por filtros de mangas

Fonte: Equipar Tecnologia Industrial

Tabela 1: Legenda da figura 2

1	Silo Pré-Moagem
2	Alimentador Rotativo
3	Moinho de Martelo
4	Caixa de Expansão
5	Transportar de Rosca
6	Filtro de Mangas
7	Elevador de Canecas

Fonte: Equipar Tecnologia Industrial

4.3 A Operação de Moagem

O milho entra na câmara do rotor onde tem o primeiro impacto com os martelos e é lançado contra as telas inúmeras vezes até que as partículas estejam reduzidas a um tamanho que permita a sua passagem através dos furos da tela, mostrados na figura 3.

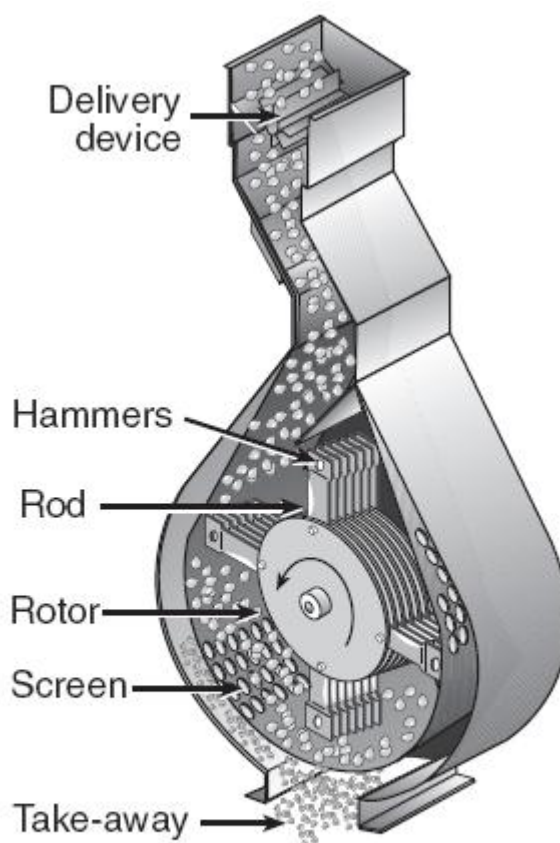


Figura 3: Moinho de Martelo

4.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MILHO

O milho em grão pode ter sua composição química diferenciada por alterações no tipo de semente, solo, quantidade de fertilizante utilizada, das condições climáticas e do estágio de maturação da planta (Tosello, 1978; Pomeranz, 1981 Apud Cantarelli, 2003).

O grão de milho é composto por endosperma, embrião e pericarpo, como pode ser observado na figura 4. O endosperma representa mais de 80% do grão, e é constituído principalmente de amido. O embrião é rico em lipídeos e proteína, porém pobre em amido e representa cerca de 11% do peso do grão. Já o pericarpo representa 5% do peso do grão sendo pobre em amido e proteína e rico em fibra (Corrêa, 2001).

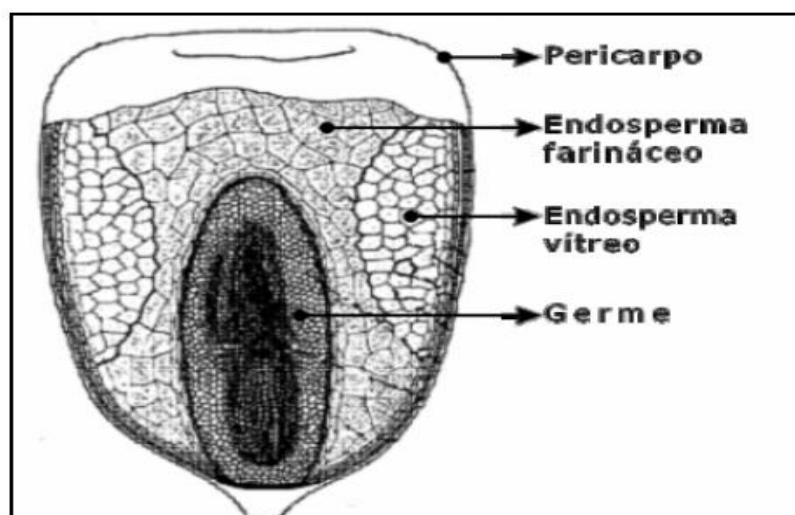


Figura 4: Localização do pericarpo, endosperma farináceo, endosperma vítreo e do germe no grão de milho

Fonte: Cantarelli 2003

Os grãos de milho são classificados, quanto à textura, em dentado “dent”, duro “flint”, farináceo “floury”, pipoca “pop corn” e doce “sweet” (CANTARELLI, 2003). No Brasil a maior parte do milho produzido é do tipo “flint” enquanto que em países com clima temperado há predominância da produção de milho do tipo dentado (PAES, 2006).

Apesar da grande maioria do milho produzido ser destinado a indústria alimentícia, os usos de seus derivados tem aplicação em indústrias químicas, farmacêutica, de papéis, têxtil entre outras. Entretanto, são dois processos que dão origem aos produtos utilizados em outros

processos industriais, a moagem seca e a moagem úmida. Na indústria brasileira o processamento do milho é feito por via seca enquanto nos países mais desenvolvidos as indústrias são do tipo “moagem úmida”. A qualidade física e química dos grãos é, portanto, determinada pelo seu destino ou uso final. Existem, hoje, no mercado, milhos com alto teor de óleo (6 a 7,5%) e alto teor de proteína (>12%), destinados à alimentação animal; alto teor de amilose (milho waxy), com propriedades importantes para a indústria alimentícia e de papel; alto teor de amilopectina (milho ceroso), para a indústria alimentícia e também de produção de adesivos; alto teor de ácido graxo oléico, para a produção de margarinas e também óleos de fritura especiais; alto teor de aminoácidos (lisina e triptofano), com melhor qualidade protéica; milhos com amido de fácil extração, destinados à indústria de produção de álcool a partir de milho (PAES, 2006).

O milho é bastante utilizado na produção de rações por ser considerado um alimento energético na dieta animal, apresentando alto conteúdo de carboidrato (amido) cerca de 70% da semente composto de dois polissacarídeos, amilose e amilopectina e lipídeos (óleo) (CANTARELLI, 2003).

Na fabricação de ração o grão de milho usado contém endosperma vítreo e farináceo e a periferia do grão contém endosperma duro que está relacionada com a composição protéica do grão (PRATT et al., 1995 Apud CANTARELLI, 2003).

4.5 GRANULOMETRIA

Pela definição de Zanotto et al. (1999) granulometria é um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. A partícula alimentar é importante no segmento nutrição alimentação animal. Seu tamanho, formato e estrutura influenciam a digestibilidade dos nutrientes, a homogeneidade, a densidade e a fluidez das rações nos sistemas automatizados de mistura e de abastecimento dos comedouros (COSTA, 1998). Na prática, o termo granulometria é usado para caracterizar o tamanho dos grânulos de um produto moído, dado pelo Diâmetro Geométrico Médio de suas partículas.

A granulometria refere-se às dimensões dos macro-ingredientes utilizados na fabricação das rações e também às medidas das próprias rações. Para Zanotto et al. (1999), inclusive, a

granulometria da ração é consequência da granulometria dos ingredientes que a compõem. O investimento das indústrias de rações em controle de qualidade também está direcionado à granulometria, exatamente por sua importância no resultado final do produto.

O milho responde por grande parte dessa preocupação, já que é o principal macro-ingrediente de rações para aves. Entre os diversos procedimentos para se avaliar a granulometria do milho, a peneira é o mais tradicional, mas o diâmetro de seus furos não garante a precisão necessária para se obter o produto mais eficiente e seguro. De acordo com Zanotto et al. (1999), o parâmetro de maior precisão para avaliar a granulometria do milho é o que recomenda o tamanho médio exato dos grânulos do produto moído. Este é dado pelo Diâmetro Geométrico Médio das partículas.

4.6 CARACTERIZANDO O GRAU DE MOAGEM

O milho participa da composição das rações com índices de 65% a 80%, o que representa, aproximadamente, 40% do custo de produção de suínos e de aves. Sabe-se que o grau de moagem do milho exerce influência sobre alguns aspectos importantes no setor de produção animal, entre os quais: 1) custo de moagem; 2) eficiência de utilização dos nutrientes; 3) desempenho animal e 4) ocorrência de úlcera esôfago-gástrica. Desta forma, é de fundamental importância o conhecimento destas relações, bem como a implementação de ações de monitoramento do grau de moagem do milho, o que contribuirá para o aumento da produtividade da suinocultura e da avicultura (Zanotto et al, 2005).

O moinho de martelos tem sido utilizado para moer milho e apresenta uma conveniente flexibilidade, quanto ao grau de moagem. Até há pouco tempo, eram utilizados parâmetros não muito adequados para caracterizar granulometricamente o milho moído, entre os quais: 1) as expressões: Fino, Médio e Grosso e 2) Diâmetro dos Furos das Peneiras do moinho. Mais recentemente, o desenvolvimento de estudos com abordagem no tamanho de partículas, medido após o milho ter sido moído, culminou com a criação de novos métodos e equipamentos, oportunizando a definição de parâmetros mais precisos para caracterizar o milho moído. Assim, o Diâmetro Geométrico Médio (DGM) das partículas do milho se constitui num parâmetro robusto para expressar as relações entre o grau de moagem do milho e alguns índices de importância técnica e econômica na produção de suínos e aves (Zanotto et al, 2005).

4.7 INFLUÊNCIA DA MOAGEM

Na preocupação com o gasto de energia as fábricas de ração determinam o tipo de moinho, sendo o moinho de martelos o mais usado, porém este equipamento ocupa o segundo lugar em consumo de energia elétrica.

4.8 CUSTO DE MOAGEM

Zanotto et al (2005) descreve que quando a moagem é realizada visando obter um DGM de maior valor observa-se, proporcionalmente, redução no consumo de energia elétrica (KWh/Ton) e aumento na taxa de moagem (Ton/h), com relação inversa à realização de moagem para DGM de menor valor. Desta maneira pode-se chegar à uma economia de até 60% no consumo de energia elétrica e o incremento de até 140% na taxa de moagem quando o DGM das partículas do milho é aumentado de 500 μ m para 1.000 μ m (Zanotto et al, 2005).

5 METODOLOGIA

Para a resolução deste trabalho de TCC, foram utilizadas como parâmetro de cálculos de potência as Leis de Divisão dos Sólidos de Kick e Rittinger apresentadas a seguir. Os dados de diâmetro inicial do grão de milho e diâmetro final do milho moído foram medidos em laboratório, obtendo em média um valor de 9,3mm para o diâmetro inicial. O diâmetro final padrão utilizado na fabricação de ração fica entre 2,38mm e 0,707mm para o milho moído e entre 0,707 e 0,297mm para o milho super fino que é utilizado em certos produtos para leitões. A capacidade utilizada é de 2700 kg/h e potência de motor utilizada de 41,8 kw.

O consumo de energia está relacionado com a estrutura interna do material e é composta de duas etapas, 1) abertura de pequenas fissuras, 2) formação de nova superfície, e pode ser calculado pelas leis de divisão dos sólidos.

Lei de Kick.

O trabalho necessário para fragmentar um sólido é função logarítmica da razão entre os tamanhos iniciais e finais dos fragmentos. A energia consumida é dada pela seguinte equação:

$$-W = KC \ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right) \quad (1)$$

W – Potência (Watt)

D_1 – Diâmetro médio inicial (m)

D_2 – Diâmetro médio do material moído (m)

C – Capacidade de alimentação (kg/s)

K – constante dependente do material moído e do tipo de equipamento

Lei de Rittinger.

O sólido a ser fragmentado inicialmente sofre deformações e fica em estado de tensão até que, ultrapassando o limite de ruptura, as partículas se rompem. O trabalho necessário para fragmentar o sólido é proporcional ao aumento de superfície produzido. O consumo de energia é expresso por:

$$-W = KC\left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1}\right) \quad (2)$$

6 RESULTADOS

Para análise de rendimento do motor foi feita a medição da corrente elétrica utilizando um amperímetro alicate por ser a forma mais simples. De posse da corrente elétrica do motor trabalhando com carregamento diário e de seus dados nominais de placa, determinou-se o índice de carregamento (IC), que é a razão entre potência real e potência nominal.

Tabela 2: Dados nominais do motor

P (kw)	75
U (V)	380
I (A)	142
RPM	1775

Com a medição da corrente elétrica que foi de 110 A na situação real, a potência elétrica em circuitos de corrente contínua pode ser obtida pela relação da tensão (U) e corrente (I), ou seja,

$$P_{\text{real}} = U \cdot I \quad (3)$$

Desta forma, $P_{\text{real}} = 380 \text{ V} \cdot 110 \text{ A} = 41,8 \text{ kw}$

O Índice de Carregamento é dado pela seguinte fórmula:

$$IC = \frac{P_{\text{real}}}{P_{\text{nominal}}} \quad (4)$$

Logo,

$$IC = \frac{41,8 \text{ kw}}{75 \text{ kw}} = 0,557$$

Pela tabela de características típicas de motores trifásicos da WEG conforme ANEXO A, obtêm-se o fator de potência ($\cos\phi$) com um IC de 55,7% do valor nominal fazendo

interpolação. Com o valor de $\cos\varphi$ calculou-se o rendimento (η) do motor através da equação (3) retirada do catalogo WEG.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{\sqrt{3}.U.I.\cos\varphi} \quad (5)$$

onde P_u = potência útil

P_a = potência absorvida

$$\eta = \frac{41800 \text{ w}}{\sqrt{3}.380V.110A.0,7228} = 80\%$$

Para relacionar potência com diâmetro e gerar os respectivos gráficos de desempenho, foi calculado o valor de K que é uma constante, através das leis de Rittinger e Kick de divisão de sólidos.

Com os dados obtidos na empresa foi calculado o valor de K para as equações das leis de Rittinger e Kick de divisão de sólidos, usando-se um diâmetro final médio de 1,54 mm.

Tendo:

$$C=0,75 \text{ kg/s}$$

$$D_1=0,0093 \text{ m}$$

$$D_2=0,00154 \text{ m}$$

$$W= 41800 \text{ kg.m}^2 / \text{s}^3$$

Substituindo os dados na equação (1) e equação (2), foram obtidos os seguintes valores apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Constantes de Kick e Rittinger

	Kick	Rittinger
K	30993,40 m^2/s^2	102,862 m^3/s^2

Com os valores de K foi desenvolvido um programa no software MatLab conforme interface mostrada abaixo relacionando potência e diâmetro de saída do milho, comparando as duas leis de divisão dos sólidos. Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 6.

```

C:\matlabR12\work\tcc.m
File Edit Text Window Help
1 clc
2 clear
3 campo={'Diâmetro de Entrada (m)', 'Diâmetro Desejado 1 (m)', 'Diâmetro Desejado 2 (m)'};
4 titulo='Entre com os parametros';
5 nl=1;
6 parametros={'0.0093', '0.000707', '0.00238'};
7 Tl=inputdlg(campo, titulo, nl, parametros); %dialogo 1
8
9 D1=str2double(Tl(1)); %4000
10 DD1=str2double(Tl(2));
11 DD2=str2double(Tl(3));
12 D2=linspace(DD1, DD2, 100);
13 Kr=102.862;
14 %D1=0.0093;
15 C=0.75;
16 W=Kr*C*(1./D2-1/D1);
17 plot(W, D2)
18 Pot_min=min(W)
19 Pot_max=max(W)
20 Kk=30993.40;
21 W2=Kk*C*log(D1./D2);
22 Pot_minK=min(W2)
23 Pot_maxK=max(W2)
24 plot(W, D2, '-.b', W2, D2, '-g')
25 legend('Rittinger', 'Kick')
26 xlabel('Potência (W)')
27 ylabel('Diâmetro de Saída (m)')
28 Dc1=interp(W, D2, 41800)
29 Dc2=interp(W2, D2, 41800)
30
Untitled tcc.m
Ready

```

Figura 5: Interface do programa no software MatLab

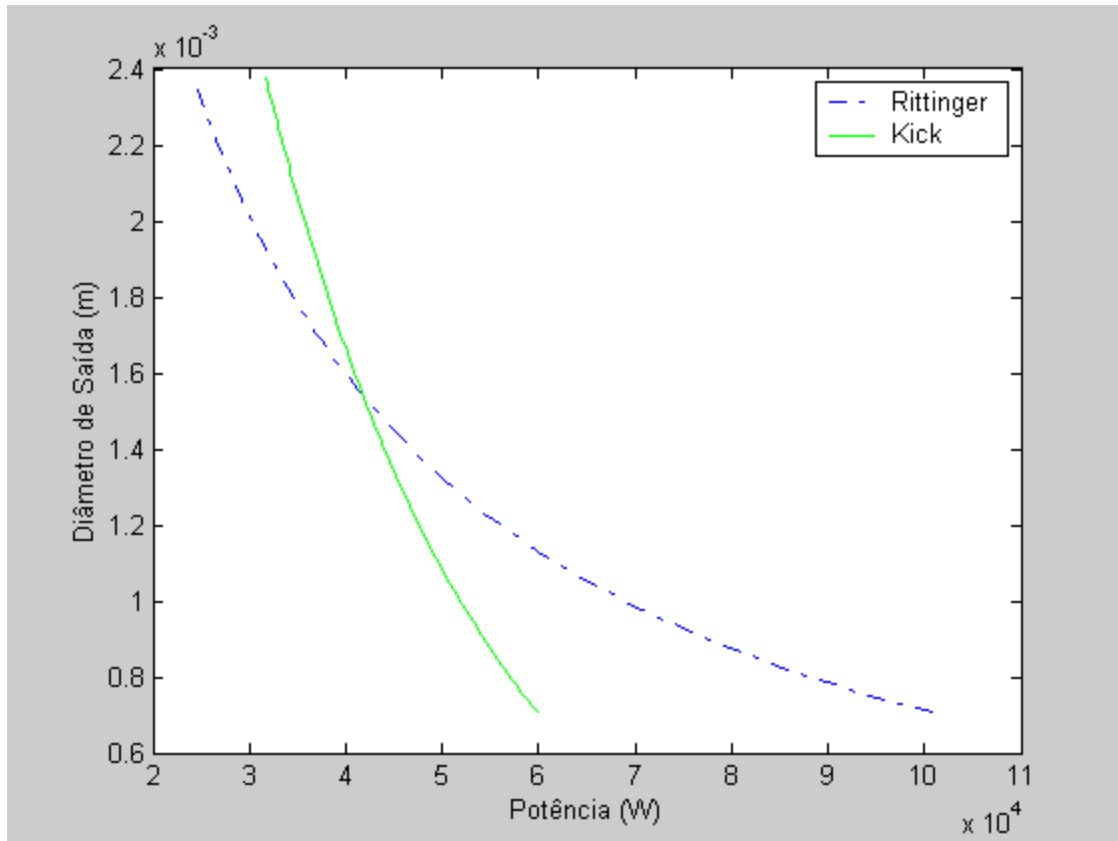


Figura 6: Diâmetro de saída por potência requerida

Com os dados disponíveis pode-se estimar o gasto com energia consumida pelo moinho na potência real utilizada e nas potências geradas pela simulação através das Leis de Kick e Rittinger pela fórmula a seguir:

$$C = \frac{P \cdot IC \cdot T_c \cdot h}{n}$$

em que:

C – gasto com consumo de energia elétrica, R\$ ano⁻¹

P – potência nominal do motor elétrico, kW

IC – índice de carregamento do motor elétrico

T_c – tarifa de consumo, R\$ kWh⁻¹

n – rendimento do motor elétrico

h – número de horas de funcionamento anual

O valor da tarifa de consumo foi pego com base em uma fatura de energia paga pela empresa e o número de horas trabalhadas anualmente foi calculado estimando uma média de moagem de 30 toneladas de milho moído diariamente na capacidade de 2700 kg/h.

O gasto de consumo para motor funcionando com potencia real tendo,

$$P=41,8 \text{ kW}$$

$$IC = 0,557$$

$$Tc = 0,38279 \text{ , R\$ kWh}^{-1}$$

$$h = 1650 \text{ h.ano}^{-1}$$

$$\eta = 0,80$$

seria,

$$C = \frac{41,8 \cdot 0,557 \cdot 0,38279 \cdot 1650}{0,80}$$

$$C = 18614,40 \text{ R\$ ano}^{-1}$$

Para a potência gerada através da simulação os gastos com consumo de energia seriam o seguinte:

- Lei de Rittinger

Para a potência de 24,12kW a nova tensão gerada seria $U= 220 \text{ V}$ com um índice de carregamento de 0,3216. Desta forma consultando a tabela WEG para um IC de 32,16% o $\cos\phi$ é de 0,628, logo a eficiência passa a ser de 92%. Assim o gasto com consumo de energia seria:

$$C = \frac{24,12 \text{ kW} \cdot 0,3216 \cdot 0,38279 \text{ kW/h} \cdot 1650}{0,92}$$

$$C = 5325,40 \text{ R\$ ano}^{-1}$$

- Lei de Kick

A potência gerada na simulação de 31,68 kW geraria uma nova tensão de 288V e IC de 0,4224 com $\cos\phi$ de 0,6689. Assim a eficiência passaria a ser de 86% e o gasto com consumo de energia seria:

$$C = \frac{31,68 \text{ kW} \cdot 0,4224 \cdot 0,38279 \text{ kW/h} \cdot 1650}{0,86}$$

$$C = 9827,80 \text{ R\$ ano}^{-1}$$

7 CONCLUSÕES

Apesar do diâmetro de saída do milho variar numa faixa de 2,38mm e 0,707mm, que se dá pelo desgaste dos martelos, velocidade de rotação muito alta e tela do moinho, está dentro do padrão para produção das rações.

Pode-se notar que para as duas leis o aumento da potência causa a redução do diâmetro de saída. Observa-se também que com a lei de Kick esta redução no diâmetro de saída é mais acentuada.

Desta forma, pela análise da Figura 6, conclui-se que para gerar um diâmetro de 2,38 mm, que é aceitável para produção das rações, não é necessário dispor de uma potência de 41,8 KW, já que o obtido por Kick é de 31,68 kW e por Rittinger de 24,12 kW o que seria o ideal para gerar os mesmos 2,38 mm de diâmetro de saída, porém promovendo um menor uso de energia e menos pó na moagem, conseqüentemente menos perda e menor custo de produção.

A diferença entre os gastos com consumo de energia é bastante significativa visto que utilizando a potência simulada pela de Rittinger a redução no gasto seria aproximadamente de 70% enquanto a Lei de Kick geraria uma redução de 47%.

GLOSSÁRIO

Delivery device	Câmara de alimentação
Hammers	Martelos do moinho
Rod	Pinos que suportam os martelos
Rotor	Rotor
Screen	Peneiras
Take-away	Saída do produto moído

REFERÊNCIAS

BIAGI, J.D. Implicações da granulometria de ingredientes na qualidade de pelets e na economia da produção de rações. In: SIMPÓSIO SOBRE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES, Concórdia, SC. Anais. Concórdia, SC EMBRAPA/CNPSA, 1998.

CANTARELLI, V. S. **Composição química, vitreosidade e digestibilidade de diferentes híbridos de milho para suínos**. 2003. 39 p. Tese (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CASP S.A. Indústria e Comércio; Manual - fábrica de ração. CASP, 1980.

CORREA, C. E. S. **Silagem de milho ou cana-de-açúcar e o efeito da textura do grão de milho no desempenho de vacas holandesas**. 2001. 102p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

COSTA, P.T.C. Granulometria de microcomponentes para rações de suínos e aves. In: Simpósio sobre granulometria de ingredientes e rações para suínos e aves, 1998, Concórdia. Anais...Concórdia: EMBRAPA/CNPSA, p.74, 1998. (EMBRAPA/CNPSA.Documentos, 52).

FILHO, D. O. et al.; Metodologia para racionalização do uso de energia elétrica para obtenção de força motriz em fábrica de ração: Estudo de caso. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.1, p.144-152, 2004.

GOMIDE, R. **Operações Unitárias**: Operações com Sólidos Granulares. São Paulo. Edição do Autor, 1983.

KLEIN, A.A. Pontos críticos do controle de qualidade em fábricas de ração – uma abordagem prática. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL ACAV – EMBRAPA SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES, 1999.

LATORRE, C. F.; et al.; Diagnóstico do potencial de conservação de energia na indústria. In: Seminário Internacional de Distribuição de Energia Elétrica, Belo Horizonte. Resumos. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 1990.

MARTIN, S. **Particle size reduction**. NFIA – feed manufacturing short course. Kansas : Kansas State University, 1988.

MAZZUCO, H. Composição química e energética do milho com diversos níveis de umidade na colheita e diferentes temperaturas de secagem para frangos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.6, p.2216-2220, 2002

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Circular Técnico Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2006.

PERRY, R. H. **Chemical Engineers' Handbook**. Quinta Edição. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 1918.

POZZA, P. C. et al.; Avaliação da moagem e granulometria do milho e consumo de energia no processamento em moinhos de martelos. Ciência Rural, Santa Maria, v.35, n.1, jan-fev, 2005.

TEIXEIRA, C. A. et al.; Racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.2, p.330-340, 2005.

ZANOTTO, D. L.; BRUM, P. A. R.. Adequando a moagem do milho as rações. , Concórdia, SC. Anais. Concórdia, SC EMBRAPA/CNPSA, 2005.

ZANOTTO, D.L.; GUIDONI, A.L.; BRUM, P.R. Granulometria do milho em rações fareladas para frangos de corte. Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 36., Porto Alegre, 1999. Anais... Porto Alegre: SBZ, p. 3, 1999.

ZANOTTO, D. L.; BELLAVER, C. Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves. EMBRAPA-CNPSA, Concórdia, dez. 1996.

ZANOTTO, D.L. et al.; Granulometria do milho na digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. R Soc Bras Zootec, v.24, n.3, p.428-436, 1995.

ZANOTTO, D. L. et al.; Efeito do grau de moagem no valor energético do milho para frangos de corte. In: Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Maringá. Anais...Maringá: SBZ, 1994.

EQUIPAR industrial. Disponível em:

<http://www.equipartecnologia.com.br/linhacalibras/calibras/moagem/processo.html> Acesso em: 03 maio 2007.

Anexo A – Catálogo WEG de Características Típicas de Motores Trifásicos

MOTORES TRIFÁSICOS - IP55



CARACTERÍSTICAS TÍPICAS

Potência		Caroço	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado I _b / I _n	Conjugado nominal C _n (kgfm)	Conjugado com rotor bloqueado C _p / C _n	Conjugado máximo C _{máx} / C _n	Rendimento η %			Fator de potência Cos φ			Fator de serviço FS	Momento de inércia J (kgm ²)	Tempo com rotor bloqueado (s) a quente	Nível médio de pressão dB (A)	Peso aprox. (kg)
Cv	kW								% da potência nominal										

1800 RPM - 60 Hz

0,16	0,12	63	1720	0,89	4,5	0,07	3,2	3,4	45,0	52,0	57,0	0,46	0,55	0,62	1,15	0,00045	31	48	7
0,25	0,18	63	1710	1,14	4,5	0,10	2,8	3,0	53,0	60,0	64,0	0,47	0,57	0,65	1,15	0,00056	18	48	8
0,33	0,25	63	1710	1,44	4,5	0,14	2,9	2,9	59,0	64,0	67,0	0,48	0,59	0,68	1,15	0,00067	20	48	8
0,50	0,37	71	1720	2,07	5,0	0,21	2,7	3,0	56,0	64,0	68,0	0,48	0,59	0,69	1,15	0,00079	10	47	10
0,75	0,55	71	1705	2,90	5,5	0,31	3,0	3,2	62,0	69,0	71,0	0,49	0,60	0,70	1,15	0,00096	10	47	11
1,0	0,75	80	1720	3,02	7,2	0,42	2,5	2,9	72,0	77,5	79,5	0,62	0,74	0,82	1,15	0,00294	8	48	15
1,5	1,1	80	1720	4,43	7,8	0,62	2,9	3,2	72,0	77,0	79,5	0,60	0,73	0,82	1,15	0,00328	5	48	16
2,0	1,5	90S	1740	6,12	6,4	0,82	2,5	3,0	77,0	81,0	82,5	0,60	0,72	0,78	1,15	0,00560	7	51	21
3,0	2,2	90L	1725	8,70	6,8	1,25	2,6	2,8	79,0	82,0	83,0	0,64	0,75	0,80	1,15	0,00672	6	51	23
4,0	3,0	100L	1725	11,8	7,5	1,66	2,6	2,8	82,0	83,0	83,5	0,61	0,73	0,80	1,15	0,00918	7	54	31
5,0	3,7	100L	1715	14,0	7,6	2,09	2,9	3,1	82,5	84,3	85,5	0,63	0,75	0,81	1,15	0,00995	7	54	33
6,0	4,5	112M	1745	16,5	7,4	2,46	2,2	2,8	85,0	86,0	86,2	0,66	0,77	0,83	1,15	0,01741	11	58	44
7,5	5,5	112M	1740	20,0	7,0	3,09	2,2	2,8	86,6	87,5	88,0	0,63	0,74	0,82	1,15	0,01741	11	58	44
10	7,5	132S	1760	26,6	8,0	4,07	2,2	3,0	86,0	88,0	89,0	0,66	0,77	0,83	1,15	0,04652	5	61	62
12,5	9,2	132M	1755	33,3	8,7	5,10	2,5	2,9	86,3	87,8	88,5	0,62	0,73	0,82	1,15	0,05427	5	61	69
15	11	132M	1755	39,3	8,3	6,12	2,3	2,8	86,8	88,2	88,5	0,68	0,80	0,83	1,15	0,05815	5	61	72
20	15	160M	1760	52,6	6,3	8,14	2,3	2,2	88,0	89,3	90,2	0,69	0,79	0,83	1,15	0,09535	10	66	114
25	18,5	160L	1755	64,3	6,3	10,2	2,3	2,4	89,0	90,0	91,0	0,70	0,79	0,83	1,15	0,11542	11	66	128
30	22	180M	1765	75,5	7,5	12,2	2,8	2,8	89,3	90,0	91,0	0,70	0,80	0,84	1,15	0,16145	9	68	158
40	30	200M	1770	101	6,6	16,2	2,3	2,5	89,5	90,5	91,7	0,72	0,82	0,85	1,15	0,27579	14	71	216
50	37	200L	1770	122	6,6	20,2	2,3	2,3	90,2	91,5	92,4	0,75	0,83	0,86	1,15	0,33095	12	71	252
60	45	225S/M	1775	146	7,2	24,2	2,3	2,7	91,0	92,2	93,0	0,75	0,84	0,87	1,00	0,69987	20	75	363
75	55	225S/M	1775	176	7,4	30,3	2,2	2,7	90,3	92,0	93,0	0,76	0,84	0,88	1,00	0,80485	15	75	386
100	75	250S/M	1780	242	8,8	40,2	3,2	3,2	92,0	93,0	93,5	0,74	0,83	0,87	1,00	1,15478	12	75	486
125	90	280S/M	1780	293	7,3	50,3	2,2	2,5	91,5	92,9	93,8	0,75	0,83	0,86	1,00	1,92710	25	80	658
150	110	280S/M	1785	353	8,0	60,2	2,6	2,7	91,5	93,5	94,1	0,78	0,84	0,87	1,00	2,56947	20	80	753
175	132	315S/M	1780	433	7,5	70,4	2,5	2,5	91,0	93,0	94,1	0,80	0,83	0,85	1,00	2,81036	14	80	859
200	150	315S/M	1785	484	7,5	80,2	2,4	2,6	90,5	93,0	94,5	0,75	0,83	0,86	1,00	3,21184	19	80	924
250	185	315S/M	1785	597	8,3	100	2,8	2,8	91,0	93,0	94,5	0,76	0,84	0,86	1,00	3,77391	22	80	1010
300	220	355M/L	1790	691	7,0	120	2,2	2,3	93,0	94,5	95,0	0,79	0,85	0,88	1,00	6,33813	48	83	1428
350	260	355M/L	1790	815	7,3	140	2,3	2,4	92,9	94,6	95,1	0,77	0,85	0,88	1,00	7,45663	32	83	1544
400	300	355M/L	1790	939	6,6	160	2,1	2,1	93,3	94,7	95,3	0,81	0,86	0,88	1,00	9,32079	37	83	1723
*450	330	355M/L	1790	1030	7,1	180	2,1	2,1	93,8	94,8	95,4	0,77	0,85	0,88	1,00	10,25287	39	83	1837
*500	370	355M/L	1790	1160	6,6	200	2,1	2,2	93,9	95,0		0,79	0,85	0,88	1,00	11,18495	31	83	1923

* motores com sobrelevação de temperatura ΔT 105K

Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção
Av. Colombo 5790, Maringá-PR
CEP 87020-900
Tel: (044) 3261-4324 / 4219 Fax: (044) 3261-5874