

MARTELETES DESGASTADOS AFETAM NEGATIVAMENTE AS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DA MOAGEM E FÍSICAS DO MILHO PROCESSADO EM MOINHO DO TIPO MARTELO¹

D. Chiodelli², D. Folador², M. M. Boiago², P. L. O. Carvalho³, D. Paiano^{2*}

¹Recebido em 14/11/2017. Aprovado em 07/11/2018.

²Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, SC, Brasil.

³Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR, Brasil.

*Autor-correspondente: diovani@hotmail.com

RESUMO: Foi conduzido um trabalho para avaliar os efeitos dos níveis de desgaste de marleteles de moinho tipo martelo, sobre características físicas do milho e operacionais de moagem. Foram utilizados quatro diferentes lotes de milho, um moinho martelo com motor de 3.500 RPM, cinco conjuntos de marleteles com diferentes níveis de desgaste do vértice (0, 20, 43, 57 e 63%) e quatro diferentes peneiras com diâmetros de furos de 1, 3, 5 e 12 mm sob um esquema fatorial 5x4, com quatro repetições em um total de 80 unidades experimentais. O aumento no diâmetro dos furos das peneiras influenciou ($P<0,05$) com aumento na produção, nos decibéis, no diâmetro geométrico médio (DGM), no desvio padrão geométrico (DPG), na densidade e com redução no consumo de energia elétrica e no ângulo de repouso (AR). O maior desgaste do martelo aumentou ($P<0,05$) o consumo de energia elétrica, DGM, DPG, AR e com redução ($P<0,05$) na produtividade e densidade. A análise de *Linear response plateau* (LRP) indicou piora na produtividade do equipamento a partir dos 55,1% de desgaste. Neste contexto, o desgaste dos marleteles influenciou negativamente as características operacionais do equipamento e físicas do milho. Para favorecer as características físicas do milho moído e evitar perdas na produtividade do equipamento recomenda-se a moagem com martelos isentos de desgaste.

Palavras-chave: qualidade do processamento de alimentos, tamanho da partícula, trituradores de milho.

WORN HAMMERS AFFECT NEGATIVELY GRINDING ASPECTS AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE PROCESSED CORN BY HAMMER MILL

ABSTRACT: We investigated the effects of worn hammers on the physical characteristics of ground corn and on the milling equipment itself. We used four corn seed types, a hammer mill fitted with a 3500 RPM motor, five sets of hammers with various wear levels (0, 20, 43, 57 and 63%) and four sieves (1-, 3-, 5- and 12-mm diameters). The experiment was performed in factorial design 5 x 4 (five set of hammers and four sieves) with four replicates, totaling 80 experimental units. Increasing sieve pore diameter produced significant improvements in terms of production, decibel levels, particle size (PS), geometric standard deviation (GSD) and density, as well as significant reductions in electrical energy consumption and the angle of repose (AR) ($P < 0.05$). The hammer with the highest wear significantly increased electric energy consumption, PS, GSD and AR and significantly reduced productivity and density ($P < 0.05$). Linear response plateau (LRP) analysis indicated a worsening in machine productivity from 55.1% wear. Therefore, hammer wear negatively influenced hammer mill characteristics and the physical characteristics of the corn. To promote better physical characteristics of milled corn and to avoid losses in productivity, we recommended grinding with new hammers.

Key words: quality of food processing, particle size, corn mills

INTRODUÇÃO

A moagem é a técnica de maior consumo de energia na produção de rações, com valores próximos a 70% do total de energia consumida na produção de rações fareladas (Dabbour et al., 2015).

A moagem promove a redução do tamanho das partículas do ingrediente e aumenta a área de superfície o que facilita a ação de enzimas digestivas. Este processo possui efeitos relevantes para melhorar a conversão alimentar, uniformizar as partículas e atender as preferências das diferentes espécies e categorias de interesse zootécnico (Polese et al., 2010).

Para a trituração de cereais é comum o uso de moinhos do tipo martelo, equipamento que consiste de uma câmara de moagem e um conjunto de martelos rotativos livres, dispostos paralelamente, que trituram os grãos a um tamanho predeterminado por meio de uma tela perfurada, a medida que os grãos entram na câmara de moagem são triturados por uma combinação de golpes dos martelos, permanecendo na câmara de moagem até que o diâmetro seja suficientemente reduzido para permitir a passagem pelos furos da tela (Hadi et al., 2017).

Diferentes fatores influenciam a qualidade de uma moagem, como rotação do equipamento, número de marteletes e diâmetro dos furos da peneira (Rodrigues et al., 2006), variedade do milho (Dabbour et al., 2015) e umidade, além do desgaste natural do equipamento.

O desgaste dos marteletes causa maior aquecimento do produto, redução na capacidade de produção, risco do rompimento da peneira, além de provável maior consumo de energia elétrica do equipamento (Dabbour et al., 2015).

O desgaste das partes móveis de moinhos são consequência do contato abrasivo entre o metal e o milho e a intensidade do desgaste é multifatorial, resultado das características do metal, condições de operação e do material moído. Em um estudo para avaliar a evolução do desgaste dos marteletes de moinho tipo martelos na moagem do milho, em moinho equipado com motor com potência 29 kwh, 32,5 cm de raio do topo do martelete na câmara de moagem e 3000 RPM, Ismail et

al. (2017) observaram que após 800 horas de trabalho houve redução de 35,4% na massa dos marteletes (redução de 180,0 para 116,5 g).

Além dos impactos relacionados à eficiência da moagem, o desgaste dos marteletes pode comprometer o tamanho e a uniformidade das partículas e por consequência piorar o desempenho animal como observado por Chewning et al. (2012) em um estudo com diferentes características físicas do milho sobre o desempenho de frangos de corte.

Paralelamente, a variação no tamanho dos grânulos impacta sobre a qualidade de mistura da ração com comprometimento da distribuição proporcional dos nutrientes que constituem a ração e consequente desbalanço nutricional da dieta (Teixeira et al., 2012).

Destaca-se a escassez de trabalhos que avaliem o grau de desgaste dos marteletes sobre os aspectos operacionais da moagem concomitante com as características físicas do milho moído, características importantes para o adequado desempenho animal. Desta forma, o presente trabalho foi proposto com o objetivo de avaliar a influência do desgaste dos marteletes de moinho tipo martelo em diferentes intensidades de moagem e os respectivos efeitos sobre as características físicas do milho moído e os aspectos operacionais da moagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o estudo foi utilizado um moinho do tipo martelo (Modelo M609 Maqtron), equipado com seis marteletes com espaçamento de 1 cm entre cada martelete, movido a um motor de 2 CV de 3.505 rotações por minuto (RPM), com velocidade estimada sem carga do topo do vértice do martelete de aproximadamente 44 m/s.

Foram fabricados quatro conjuntos de marteletes nos quais foram realizadas simulação de desgaste do vértice (Figura 1). Para o desgaste foi utilizado como base o desgaste máximo recomendado por Kersten et al. (2005) e o desgaste natural de marteletes descartados de fábricas de ração. Os cinco conjuntos de marteletes (original e os quatro fabricados) foram utilizados combinados com quatro peneiras com diferentes características técnicas (Tabela 1).

Foram utilizados para o estudo quatro diferentes lotes de milho (*Zea mays* L.), os quais

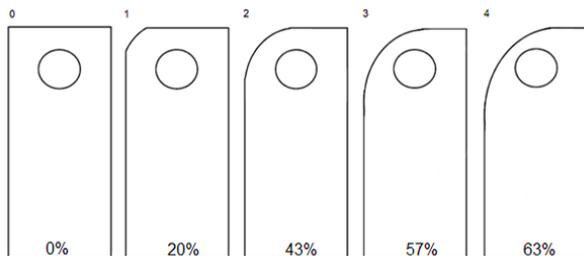


Figura 1- Níveis de desgaste do vértice dos marteletes adotados para o experimento

foram previamente submetidos à pré-limpeza (peneiras de 4 mm) para retirada dos grãos quebrados e impurezas e sub amostrados para a análise da composição nutricional e física (Tabela 2).

Previamente à realização das moagens foi ajustada a alimentação de milho no moinho com a variedade de milho do lote A de modo a que o fluxo de milho na câmara de moagem, em cada uma das peneiras com os marteletes novos mantivesse a amperagem do motor em 13 amperes (cerca de 60% da capacidade do equipamento), foi utilizado um voltímetro e um amperímetro acoplados ao motor e com os valores obtidos no decorrer da moagem (coleta de quatro pontos instantâneos) foi calculado o consumo de energia (kW/tonelada).

Para determinação da produção (Produção, t/h= Peso do material processado em toneladas (t)/tempo gasto para o processamento em horas (h)), foi utilizado o método proposto por Rodrigues et al. (2006), com processamento de 3,5 kg de amostra. Para determinação dos decibéis (dB) foi utilizado um decibímetro digital da marca CEM, modelo DT-805, instalado a um metro do moinho configurado para a função *Slow response high range* (60 a 130 dB).

A avaliação da granulometria foi realizada em duplicata (150 g) de acordo com o método de peneiramento em cascata conforme

metodologia proposta por Henderson e Perry (1976). Foi utilizado o software Granucalc (Dalmedico et al., 2013), para calcular o diâmetro geométrico médio (DGM) e desvio padrão geométrico (DPG). Os peneiramentos foram realizados em ambiente climatizado com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $49 \pm 7\%$.

O ângulo de repouso (AR) foi mensurado com base no método proposto por Syamsu et al. (2015), em duplicata (400 g do milho moído) e queda de 30 cm em superfície de celulose. A partir da altura do talude e da largura média da base foi calculado o AR.

Os dados foram analisados quanto a normalidade dos erros pelo teste de aderência Kolmogorov-Smirnov e os valores de consumo (kW/ton), decibéis e densidade não apresentaram normalidade ($P < 0,05$) e foram transformados por meio da elevação aos coeficientes 0,2; 7 e 15, respectivamente.

O delineamento utilizado foi um esquema fatorial 5×4 , cinco graus de desgaste dos marteletes e quatro diâmetros de furos de peneira e quatro repetições (cada repetição foi elaborada com uma diferente variedade de milho). No caso de efeitos do desgaste foi aplicado adicionalmente o teste de Dunnett ($P < 0,05$). Para as variáveis que apresentaram diferenças, os graus de liberdade foram desdobrados em polinômios ortogonais para obtenção das equações de regressão, foram utilizados modelos até a segunda ordem. Posteriormente, no caso de efeitos quadráticos ($P < 0,05$) para o grau de desgaste e intensidade de moagem e interação não significativa ($P > 0,05$), foram aplicados modelos de regressão segmentada (*Linear Response Plateau*) de modo a estimar o ponto no qual o desgaste passou a alterar as variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1 - Características técnicas das peneiras utilizadas no experimento.

Características técnicas das peneiras experimentais				
Itens	1 mm	3 mm	5 mm	12 mm
Área média dos furos, mm ²	0,79	7,07	19,63	113,09
Área vazada total, cm ²	166,9	148,5	213,6	147,01
Área não vazada, cm ²	316,7	335,1	270,0	326,19
Área total, cm ²	483,6	483,6	483,6	473,2
Área aberta, %	34,51	30,71	44,17	31,07

Tabela 2 - Composição físico-químicas dos diferentes lotes de milho utilizados.

Itens	Lotes de milho utilizados			
	A	B	C	D
Matéria seca, % ¹	89,37	90,32	89,21	89,24
Proteína Bruta, % ¹	9,99	10,20	8,38	8,05
Fibra em detergente neutro, % ¹	10,14	11,58	9,29	11,37
Fibra em detergente ácido, % ¹	2,10	2,18	2,91	2,37
Extrato etéreo, % ¹	3,07	2,91	4,16	4,18
Matéria mineral, % ¹	1,11	1,21	0,87	0,99
Energia Bruta, kcal/kg ¹	3960	3926	3995	3945
Peso de mil unidades, g	275,1	271,3	298,4	325,8
Densidade, g/cm ³	1,02	1,02	1,04	1,02

¹-Analisados conforme metodologia preconizada por Gomes e Oliveira (2006).

Os diferentes tipos de milho apresentaram diferenças ($P<0,05$) na produção do moinho, no consumo de energia, decibéis, DGM, densidade e no AR (Tabela 2).

As diferenças entre os resultados para os aspectos operacionais da moagem e físicas do milho após a moagem, entre os diferentes tipos de milho, eram esperadas visto serem

influenciadas pela variedade (Probst et al., 2013) ou composição do material, como por exemplo a umidade (Dabbour et al., 2015).

As características operacionais da moagem foram influenciadas ($P<0,05$) pelo diâmetro dos furos da peneira e pelo desgaste do martelo (Tabela 3). Para a variável decibéis houve interação ($P<0,05$) entre o nível de desgaste e o

Tabela 3 - Características operacionais da moagem e características físicas do milho provenientes de moagem com diferentes graus de desgaste dos martelos e diferentes diâmetros dos furos das peneiras.

	Características operacionais			Características do milho moído ¹			
	Produção, kg/h	Consumo, kW/t	Decibéis, dBA	DGM, µm	DPG	Dens., g/L	AR, °
Peneiras, mm							
1	47	52,1	100,3	534	1,52	824,4	38,1
3	160	14,2	102,5	840	1,72	871,9	28,8
5	286	7,8	102,9	1118	1,96	870,0	29,2
12	428	5,0	102,2	1633	2,24	890,2	28,2
Desgaste do vértice, % ²							
0	242	19,1	102,3	979	1,84	871,2	30,2
20	238	19,2	102,2	1013	1,86	868,6	31,1
43	236	19,7	102,6	1059*	1,86	862,8	31,1
57	230	19,4	101,6	1075*	1,87	859,9	31,5
63	205*	21,6*	101,2	1031	1,88	858,2	31,6
Valores de P =							
Milho	<0,01	0,04	<0,01	0,01	0,75	0,01	0,03
Peneira	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Desgaste	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,22	0,07	0,03
Desgaste*peneira	0,12	0,23	<0,01	0,99	0,07	<0,01	0,16

¹DGM: Diâmetro geométrico médio; DPG: Desvio padrão geométrico; Dens.: Densidade e AR: Ângulo de repouso (AR); ²Valores seguidos de asterisco na coluna diferem do nível de desgaste zero pelo teste de Dunnett ($P<0,05$).

Tabela 4 - Desdobramento dos polinômios e coeficientes das equações de regressão obtidas para as características operacionais da moagem e características físicas do milho pós moagem.

Efeitos	Características operacionais			Características do milho moído ¹			
	Produção, kg/h	Consumo, kW/t	Decibéis, dBA	DGM, µm	DPG	Dens, g/L	AR, °
	Valores de P da análise de regressão						
Milho	<0,01	NS	NS	<0,01	NS	NS	NS
Lin. peneira	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01
Quad. pen.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01
Lin. Desgaste	<0,01		<0,01	<0,01	<0,0	<0,01	0,03
Quad. Desg.	<0,05		<0,05				
	Coefficientes das equações						
Constante	-25,4162	66,0049	99,5585	309,020	1,35530	0,82069	39,7923
Lin. peneira	79,5114	-18,0044	1,11341	184,651	0,14413	0,01801	-3,71396
Quad.pen.	-3,41154	1,07936	-0,0732	-6,49068	-0,00599	-0,00097	0,22529
Lin. Desgaste	0,51331		0,03696	1,18414	0,00049	-0,00021	0,01920
Quad. Desg.	-0,01478		-0,0008				
R²	0,97	0,93	0,46	0,96	0,97	0,70	0,75

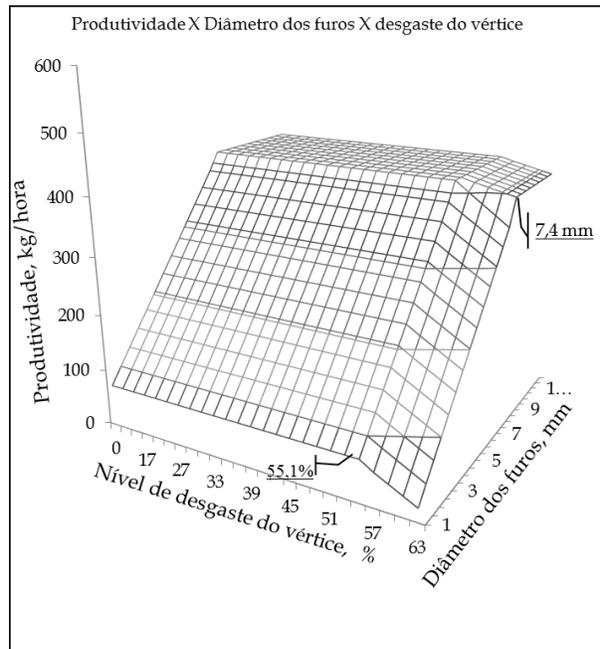
¹DGM: Diâmetro geométrico médio; DPG: Desvio padrão geométrico; Dens.: Densidade e AR: Ângulo de repouso.

diâmetro dos furos da peneira.

As equações de superfície obtidas apresentaram altos coeficientes de determinação (Tabela 4) em especial a obtida para a produção (kg/h) que apresentou R² de 97%, a aplicação do modelo segmentado (*Linear response plateau*) indicou platôs com queda da produção aos 55,1% de desgaste e estabilização do rendimento de moagem a partir dos 7,4 mm de diâmetro dos furos das peneiras (Figura 2).

A menor produtividade na moagem com os martelos desgastados (Tabela 03), cerca de 15% inferior no desgaste de vértice de 63%, está relacionada com a maior dificuldade dos martelos desgastados em triturar os grãos, visto que o desgaste altera a angulação na cabeça do martetele (Figura 1), o que resulta em um ângulo de impacto menor e por consequência menor quebra do grão do milho, quando comparado ao martelo novo.

O menor ângulo de impacto dos martetes resultou em maior tempo para a redução do tamanho da partícula do milho, para diâmetro suficientemente pequeno para atravessar os furos da peneira, com a necessidade de maior número de impactos do martetele e consequente aumento do tempo dentro da câmara de moagem e menor produtividade por hora.



Desgaste dos martetes:
LRP linear= -1,3598Y(%) + 297,5497
Encontro das retas = 55,1 %
Diâmetro dos furos:
LRP linear= -15,0667 + 59,8X(mm)
Encontro das retas= 7,40 mm

Figura 2 - Efeitos do diâmetro do furo da peneira e do desgaste do vértice do martetele na produtividade (kg/h).

Os resultados obtidos são corroborados por Kersten et al. (2005) os quais, em estudo de comparação da moagem do milho e da cevada, observaram diminuição na capacidade de moagem do equipamento de acordo com o maior desgaste dos marteletes. Da mesma forma, Heimann (2013) relatou aumento da capacidade de produção de 33 para 50 toneladas quando as peças desgastadas de moinhos martelos foram substituídas por peças novas e Ismail et al. (2017) que relataram redução na moagem do milho de 1,1 t/hora (moinho com martelos novos) para 0,2 t/hora com a moagem com moinhos equipados com martelos com 35% de desgaste, em peneira de 2,5 mm.

A moagem na peneira de 12 mm apresentou um rendimento de moagem cerca de nove vezes superior ao obtido na peneira de 1 mm (Tabela 3). Comportamento esperado, visto que a aproximação do tamanho do furo da peneira com o diâmetro do grão do milho diminui o atrito para a saída do milho da câmara de moagem e com isso houve maior facilidade para as partículas atravessarem a mesma. Os mesmos comportamentos foram observados por Rodrigues et al. (2006), Souza et al. (2010) e Dabbour et al. (2015) os quais observaram aumento na produtividade do moinho de acordo com o aumento do diâmetro de furo da peneira.

A moagem com marteletes desgastados influenciou ($P<0,05$) o consumo de energia elétrica por tonelada moída (kW/t) e os modelos linear e ou quadrático não foram significativos para o desgaste. Entretanto, o nível de 63% de desgaste apresentou maior consumo de energia por tonelada moída ($P<0,05$) quando comprado aos marteletes novos.

O aumento no diâmetro da peneira diminuiu o consumo de energia elétrica por tonelada processada (Tabela 4). Este resultado era esperado visto que peneiras com diâmetro de furos maiores facilitam a passagem do milho e conseqüentemente maior quantidade processada por hora e conseqüentemente maior DGM. Resultados semelhantes foram observados por Rodrigues et al. (2006), que verificaram menor consumo de energia elétrica e maior tamanho do grânulo com o aumento no diâmetro do furo da peneira.

Em um estudo com dois tipos de moinho

(martelo e rolos), no qual, foram avaliadas a intensidade da moagem, consumo específico de energia e qualidade de pellets Vukmirović et al. (2016) relataram menor consumo de energia e pior qualidade dos pellets com moagens com maior DGM independentemente do tipo do moinho.

O maior consumo de energia elétrica por tonelada moída ($P<0,05$), variável que trata da combinação do tempo de processamento, voltagem e amperagem do equipamento, está relacionada a dificuldade de moagem com marteletes desgastados, visto a necessidade de maior número de golpes dos marteletes desgastados sobre os grãos para permitir a passagem através da peneira, o que resultou em uma trituração mais lenta e maior demanda de energia elétrica por tonelada. A hipótese é reforçada por Heimann (2013) que cita que a utilização de marteletes velhos diminui a eficiência de produção e aumenta o consumo de energia elétrica por tonelada processada e pelos resultados reportados por Ismail et al. (2017) os quais verificaram aumento de cerca de 2,5 vezes no gasto energético, com o uso de marteletes com 35% de desgaste, quando comparados com marteletes novos.

O desgaste e o diâmetro dos furos das peneiras influenciaram ($P<0,05$) os decibéis e as equações quadráticas com ponto de máximo foram significativas (Tabela 4). Os resultados obtidos para os dB estão associados ao fato de que nas peneiras de menor diâmetro do furo houve abafamento do ruído pela presença de maior volume de milho na câmara de moagem e nas peneiras de maior diâmetro de furo houve menor atrito para a saída das partículas de milho com conseqüente menor ruído, o que favoreceu o comportamento quadrático com ponto de máximo nas peneiras intermediárias.

O aumento no desgaste também resultou em efeito quadrático ($P<0,05$) para os dB registrados. O maior desgaste (associado ao arredondamento da cabeça do martelete) ocasionou impacto do grão contra o martelo em ângulo oblíquo o que diminuiu sua eficiência com conseqüente aumento da massa de milho dentro do moinho o que resultou em abafamento do ruído nos desgastes mais intensos. Por outro lado, no desgaste zero, visto sua maior eficiência de moagem diminuiu o ruído produzido.

O maior desgaste dos marteletes resultou em aumento linear ($P < 0,05$) para DGM e DPG do milho moído, resultados associados às arestas arredondadas dos marteletes desgastados, os quais proporcionaram menor eficiência na moagem o que aumentou o DGM, o reprocessamento do grão e por consequência aumentou o DPG. Resultados parecidos foram obtidos por Paiano et al. (2014) e Rojas e Stein (2015) os quais relataram aumento no DPG com o aumento do DGM da moagem do milho.

Mudanças nas características físicas do milho podem resultar em prejuízos à performance zootécnica, Rojas e Stein (2015), em estudo com diferentes granulometrias do milho sobre a digestibilidade ileal de suínos, observaram redução da digestibilidade da energia com o aumento do DGM de 339 para 865 μm . Por outro lado, Rojas et al. (2016) observaram redução da hiperqueratose com o aumento do DGM do milho.

O aumento do tamanho dos furos resultou em efeito quadrático com ponto de máximo (ponto de inflexão de 9,3 mm) sobre a densidade do milho moído o que sugere aumento para esta variável com o aumento do diâmetro dos furos das peneiras, relacionado à maior compactação dos grânulos de maior DGM. O maior desgaste dos marteletes reduziu a densidade e aumentou o ângulo de repouso ($P < 0,05$).

O aumento do ângulo de repouso e redução da densidade, com aumento dos níveis de desgaste dos marteletes, provavelmente estão associados aos fatores previamente discutidos para as outras variáveis. Alterações na densidade dos ingredientes podem ter efeitos relevantes sobre a mistura da ração, pois ingredientes com diferentes densidades tendem a não homogeneizar uniformemente, visto que partículas menos densas se acumulam na superfície do misturador, enquanto partículas com maior densidade tenderem a segregar (Lara, 2011).

O AR, variável que indica a fluidez de um alimento, foi maior nas moagens com peneiras com menores diâmetros dos furos (Tabela 3). Provavelmente, a maior intensidade de moagem (maior número de partículas/g) e maior área de superfície em relação ao peso, resultou em maior inclinação da pilha. Este resultado é corroborado Rojas e Stein (2015),

que observaram aumento no AR com a redução do DGM do milho e associaram os resultados obtidos com a redução da fluidez entre as partículas em moagens mais finas.

Os resultados obtidos indicam que para não comprometer a capacidade operacional do equipamento a substituição dos marteletes deve ser realizada a partir dos 55,1% de desgaste do topo do vértice, valor superior ao recomendado por Kersten et al. (2005), os quais sugeriram substituição dos marteletes a partir dos 43% de desgaste. Entretanto, destacamos que em moinhos de alta potência, com velocidades dos marteletes superiores ao utilizado no trabalho, os efeitos adversos do desgaste podem ser ampliados exponencialmente, resultado do aumento exponencial da energia cinética com o aumento da velocidade do martelete, o que pode explicar as diferenças encontradas entre as recomendações da literatura e a do presente trabalho.

Paralelamente, foi observado que a moagem na peneira de menor diâmetro de furos (1 mm) no grau de maior desgaste (63%) resultou em danos físicos à peneira. O mesmo comportamento foi relatado por Lara (2011) que cita que o uso de marteletes desgastados, diminui a eficiência na trituração, o qual favorece o maior acúmulo de massa dentro da câmara de moagem, evento propício ao rompimento das peneiras.

Com relação ao consumo de energia elétrica por tonelada moída (Tabela 4), o maior desgaste do martelete aumentou em cerca de 2,5 kW/ton ou 13,1% o consumo de energia quando comparado ao martelete novo, o qual representa cerca de R\$ 0,47 de custo adicional por tonelada produzida. Heimann (2013) cita aumento no consumo de energia elétrica na moagem do milho de 68% quanto utilizou peças desgastadas em peneira de 10 mm. No mesmo estudo o custo da moagem com marteletes novos e desgastados foram de 0,19 e US\$ 0,28/tonelada, respectivamente.

Destacamos que o referido custo adicional está subestimado, visto que, os demais custos inerentes ao processo de moagem com martelos desgastados como, os valores relativos ao maior número de horas trabalhadas para a moagem, o maior desgaste e depreciação do equipamento não estão incluídos.

Adicionalmente, as alterações observadas

nas propriedades físicas do milho (DGM, DPG e densidade) podem comprometer a qualidade de mistura das rações, diminuir a qualidade dos pellets e gerar prejuízos ao desempenho zootécnico os quais são fatores mais relevantes economicamente. Desta forma, para se maximizar o desempenho dos animais e melhorar eficiência produtiva da atividade o ideal é que a moagem seja realizada com marteletes isentos de desgaste.

Entretanto, outros trabalhos devem ser conduzidos para avaliar a viabilidade econômica da troca dos marteletes desgastados por novos, correlacionando o custo da ração nas diferentes fases de produção animal, desempenho zootécnico, horas de trabalho, depreciação do equipamento, estabilidade dos pellets, manutenção do moinho e custo para a substituição dos marteletes.

CONCLUSÕES

O desgaste dos marteletes influenciou negativamente as características operacionais do equipamento e para não prejudicar a produtividade por hora a substituição dos marteletes deve ser realizada antes dos 55,1% de desgaste.

Para favorecer as características físicas do milho moído, recomenda-se a moagem com martelos novos.

REFERÊNCIAS

- CHEWNING, C.G.; STARK, C.R.; BRAKE, J. Effects of particle size and feed form on broiler performance. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, p. 830-837, 2012. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00553>
- DABBOUR, M.I.; BAHNASAWY, A.; ALI, S.; EL-HADDAD, Z. Grinding parameters and their effects on the quality of corn for feed processing. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 6, p.1-7, 2015. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000482>
- DALMEDICO, G.; ZANOTTO, D.L.; KRABBE, E.L.; COLDEBELLA, A. **GRANUCALC**: manual do usuário. 1 ed. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2013. 18p.
- GOMES, J.; OLIVEIRA, G.F. Análises físico-químicas de alimentos. Viçosa: UFV, 2012. 303p.
- HADI, M.I.; BAWA, M.A.; DANDAKOUTA, H.; AHMED, M.; KAMTU, P.M. Improvement on the Design, Construction and Testing of Hammer Mill. **American Journal of Engineering Research**, v.6, p.139-146, 2017.
- HEIMANN, M. Economics of grinding for pelleted feeds. **Engormix**, 2013. Disponível em: <<https://en.engormix.com/feed-machinery/articles/economics-grinding-pelleted-feeds-t35603.htm>> Acesso em: 10/01/2017.
- HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L. **Agricultural process engineering**. Westport, Connecticut: Avi Publishing Co. Inc., 1976. 422p.
- ISMAIL, N. K.; FOUUDA, O. A.; AHMAD, M. C.; MOSA, M. M. Influence of knives wear phenomena on hammer mill productivity and product quality. **Journal of soil science and agricultural engineering**, v.8, p.347-353, 2017.
- KERSTEN, J.; ROHDE, H.; NEF, E. **Principles of mixed feed production: components. Processes. Technology**. Bergen/Dumme, Germany: Agrimedia, 2005. 306p.
- LARA, M.A.M. **Processo de produção de ração: Moagem, mistura e peletização**. Virtual Books, 2011. Disponível em: <<http://nftalliance.com.br/artigos/ebooks/processo-de-produ-o-de-ra-o-moagem-mistura-e-peletiza-o>>. Acesso em 15/01/2017.
- PAIANO, D.; BIAZZI, H.M.; TREVISAN, C.; CASAROTTO, S.; ZIMMER, F.; KRAHL, G.; LOPES, L. S. Macro ingredientes como indicadores da qualidade de mistura de Rações. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, p.1463-1474, 2014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1463>
- POLESE, M.F.; VIDAL JUNIOR, M.V.; MENDONÇA, P.P.; TONINI, W.C.T.; RADAEL, M.C.; ANDRADE, D.R. Efeito da granulometria do milho no desempenho de juvenis de pacu, *Piaractus mesopotamicus*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, p.1469-1477, 2010. <https://doi.org/10.1590/s0102-09352010000600025>
- PROBST, K.V.; KINGSLEY AMBROSE, R. P.; PINTO, R. L.; BALI, R.; KRISHNAKUMAR, P.;

ILELEJI, K. E. The effect of moisture content on the grinding performance of corn and cobs by hammermilling. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 56, p.1025-1033, 2013. <https://doi.org/10.13031/trans.56.9996>

RODRIGUES, D.E.; DIAS, G.P.; FERNANDES, H.C.; PIZZILO, T.A. Avaliação do desempenho do desintegrador/picador/moedor (DPM) na moagem do milho. **Engenharia na Agricultura**, v.14, p.64-73, 2006. <https://doi.org/10.13083/1414-3984.v18n06a03>

ROJAS, O.J.; LIU, Y.; STEIN, H.H. Effects of particle size of yellow dent corn on physical characteristics of diets and growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.94, p.619-628, 2016. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9054>

ROJAS, O.J.; STEIN, H.H. Effects of reducing the particle size of corn grain on the concentration of digestible and metabolizable energy and on the digestibility of energy and nutrients in corn grain fed to growing pigs. **Livestock Science**, v.181, p.187-193, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.013>

SOUZA, L.H.; DIAS, G.P. SOUZA, L.C.V.; DIAS, I.G. RODRIGUES, D.E. Avaliação da demanda energética de um desintegrador-picador-moedor (dpm) na moagem de milho. **Engenharia na agricultura**, v.18, p.480-487, 2010. <https://doi.org/10.13083/1414-3984.v18n06a03>

SYAMSU, J.A.; YUSUF, M.; ABDULLAH, A. Evaluation of physical properties of feedstuffs in supporting the development of feed mill at farmers group scale. **Journal of Advanced Agricultural Technologies**, v.2, p.147-150, 2015. <https://doi.org/10.12720/joaat.2.2.147-150>

TEIXEIRA, M.M.; RIZZO, R.; DETMANN, E.; MOREIRA, R.M.G.; SASSAKI, R.S. Avaliação da qualidade da mistura de ração em misturador horizontal considerando a homogeneidade dos ingredientes. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, p.123-131, 2012.

VUKMIROVIĆ, D.M.; LEVIĆ, J.D.; FIŠTEŠ, A.Z.; ČOLOVIĆ, R.R.; BRLEK, T.I.; ČOLOVIĆ, D.S.; ĐURAGIĆ, O.M. Influence of grinding method and grinding intensity of corn on mill energy consumption and pellet quality. **Hemjska industrija**, v. 70, p. 67-72, 2016. <https://doi.org/10.2298/hemind141114012v>