

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

MARCELO AUGUSTO ULLMANN

**ANÁLISE DE POSSIBILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SUBSTITUIÇÃO
DO MATERIAL DE FABRICAÇÃO DE MARTELOS PARA MOINHOS
UTILIZADOS EM INDÚSTRIAS DE RAÇÃO PARA SUÍNOS**

CASCADEL - PR

2021

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

MARCELO AUGUSTO ULLMANN

**ANÁLISE DE POSSIBILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SUBSTITUIÇÃO
DO MATERIAL DE FABRICAÇÃO DE MARTELOS PARA MOINHOS
UTILIZADOS EM INDÚSTRIAS DE RAÇÃO PARA SUÍNOS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Carlos Alberto Breda

CASCADEL - PR

2021

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
MARCELO AUGUSTO ULLMANN

**ANÁLISE DE POSSIBILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SUBSTITUIÇÃO
DO MATERIAL DE FABRICAÇÃO DE MARTELOS PARA MOINHOS
UTILIZADOS EM INDÚSTRIAS DE RAÇÃO PARA SUÍNOS**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Msc. Carlos Alberto Breda.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof.^o Msc. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor Msc. Bruno dos Santos
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Agrícola



Professor Msc. Cleberson Pereira
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 23 de novembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, amigos e colegas de curso pelo incentivo, motivação e carinho durante toda a construção deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Cleusa e Sergio, por todo o apoio e base para que a caminhada até aqui fosse possível.

Ao professor Engenheiro Mecânico Carlos Alberto Breda, por me guiar e orientar durante a elaboração deste Trabalho de conclusão de curso.

Aos amigos e colegas que tive o prazer de conhecer e acompanhar a evolução durante o tempo de curso, onde tivemos momentos de extrema alegria, porém também momentos difíceis, assim como toda estrada da vida é.

RESUMO

O intuito desta pesquisa foi analisar a utilização de martelos para moinho em uma indústria de ração para suínos. O moinho de martelos é amplamente utilizado nas indústrias de nutrição humana e nutrição animal do país. O martelo, por sua vez, consiste em uma peça de desgaste do equipamento que é responsável por reduzir o tamanho inicial da partícula do produto que passa pelo moinho. Desta forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar a possibilidade técnica e econômica de substituição do material de fabricação dos martelos para moinhos oferecendo melhor rendimento do equipamento e menor desgaste ao longo do tempo de uso. Este estudo foi desenvolvido em uma indústria de nutrição animal na cidade de Toledo, no Oeste do Paraná e teve início com uma pesquisa bibliográfica em artigos e livros referentes aos temas indústria, granulometria e moinhos. Os dados foram coletados através de plataformas digitais e softwares de manutenção e cálculo de Diâmetro Geométrico Médio (DGM). Primeiramente, foram analisadas amostras de produto moído através do DGM para observar se o material que compõe o martelo tem alguma influência sobre o resultado do DGM. Em um segundo momento, foi realizado um teste de durabilidade do equipamento. Os resultados demonstraram que martelos compostos por aço Hardox 500 possuem maior vida útil em comparação aos de aço ferramenta VC-131. Portanto, concluiu-se que o martelo fabricado em Hardox 500 possui viabilidade técnica e econômica para substituir o material até então utilizado, aço ferramenta VC-131.

Palavras-chave: Granulometria. Moinho de Martelos. Nutrição Animal.

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the use of hammers in a mill of a pig feed industry. Hammer mill is widely used in human and animal nutrition industries all over the country. The hammer is a component of the hammer mill that reduces particle size by impact. The objective of this research was to evaluate the technical and economic feasibility of replacing the material used in the manufacture of hammers for mills, for the purpose of increase the machine performance and reduce its wear over time. This study was developed in an animal nutrition industry in the city of Toledo, located in the west of the state of Paraná, and began with bibliographical research in articles and books related to the themes of industry, granulometry and mills. Data were collected through digital platforms and maintenance and the geometric mean diameter (GMD) software. At first, samples of ground product were analyzed through the GMD to observe if the material that composes the hammer has any influence on the result of the GMD. In a second moment, it was performed a durability test of the equipment. The results demonstrated that hammers composed of Hardox 500 steel have longer life compared to those of VC-131 tool steel. Therefore, it was possible to conclude that the hammer manufactured in Hardox 500 has technical and economic feasibility to replace the material used until then, tool steel VC-131.

Keywords: Granulometry. Hammer Mill. Animal Nutrition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de funcionamento de moinho de rolos.	15
Figura 2: Esquema de processamento de moinho de discos.	16
Figura 3: Representação de moinho de bolas.	16
Figura 4: Esquema de processamento do moinho de martelos.....	17
Figura 5: Representação em corte de moinho de martelos.....	18
Figura 6: Principais países produtores de ração em 2016.	19
Figura 7: Exemplo de relatório fornecido pelo GranuCalc.	21
Figura 8: Moinho de martelos TM-250.....	26
Figura 9: Moinho de martelos TM-250: câmara de moagem.....	26
Figura 10: Martelo padrão utilizado no moinho TM-250.	27
Figura 11: Desenho do martelo com medidas.	27
Figura 12: Padrão de desgaste para troca do martelo.....	28
Figura 13: Plaqueta de identificação do agitador de peneiras.	29
Figura 14: Agitador de peneiras.	30
Figura 15: Placa de identificação da balança.	30
Figura 16: Balança Toledo.	31
Figura 17: Identificação das capacidades da balança.	31
Figura 18: Ordem de serviço de troca de martelos em 14/03/2021.....	33
Figura 19: Ordem de serviço de inversão de martelos em 08/04/2021.....	33
Figura 20: Ordem de serviço de troca de martelos em 30/04/2021.....	34
Figura 21: Ordem de serviço de inversão de martelos em 10/06/2021.....	34
Figura 22: Ordem de serviço de troca de martelos em 20/07/2021.....	34
Figura 23: Câmara de moagem com martelos de Hardox 500.	35
Figura 24: Detalhe da condição do martelo de Hardox 500 em 30/10/2021.....	35
Figura 25: Comparativo de desgaste do martelo de Hardox 500 em 30/10/2021 com um martelo novo.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química do aço ferramenta VC-131.	24
Tabela 2: Composição química do aço Hardox 500.	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius;
CVs	Cavalo-Vapor;
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento;
DGM	Diâmetro Geométrico Médio;
DGP	Desvio Geométrico Padrão;
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
LTDA	Limitada;
MM	Milímetros;
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
RPM	Rotações por minuto;
SINDIRAÇÕES	Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal;
PIB	Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS.....	10
1.1.1	Objetivo Geral.....	10
1.1.2	Objetivos Específicos	11
1.2	JUSTIFICATIVA.....	11
1.3	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	11
1.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	INDÚSTRIA.....	13
2.2	MOINHOS.....	14
2.2.1	Moinho de rolos	14
2.2.2	Moinho de discos	15
2.2.3	Moinho de bolas.....	16
2.2.1	Moinho de martelos.....	17
2.3	NUTRIÇÃO ANIMAL	18
2.4	GRANULOMETRIA	19
2.4.1	Granulcalc	20
2.5	RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS.....	21
2.5.1	Dureza dos materiais	22
2.5.2	Resistência a compressão.....	23
2.5.3	Tenacidade	23
2.6	MATERIAIS.....	23
2.6.1	Aço ferramenta VC-131	24
2.6.2	HARDOX® 500.....	24
3.	METODOLOGIA	26
4.	RESULTADOS	33
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
6.	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, apenas no ano de 2016, foram consumidos cerca de 24 milhões de toneladas de milho na produção de ração para suinocultura (CONAB, 2018). Uma das premissas para que o consumo deste milho e de outras matérias-primas apresente melhor conversão alimentar na nutrição de suínos é a eficiência no processo produtivo industrial, especificamente no processo de redução da granulometria destas matérias-primas.

Um dos equipamentos mais utilizados para a trituração de cereais, segundo Hadi (2017), é o moinho de martelos. Com um processo relativamente simples, o moinho de martelos dispõe de um motor elétrico para ser acionado, que é ligado a um eixo principal através de um elemento de acoplamento. O eixo principal faz parte de um rotor, com eixos secundários nos quais são fixados os martelos. Usualmente, a alimentação com produto é realizada por uma abertura superior; e, nas estruturas laterais e inferior encontra-se uma ou mais peneiras. Essas peneiras tem apenas a função de deixar passar o produto que já se encontra na dimensão granulométrica desejada.

O martelo trata-se de uma peça de desgaste do equipamento e é considerado um dos principais responsáveis pela diminuição granulométrica e também um dos maiores custos de manutenção no processo de moagem. Conforme explanado por Chiodelli *et al.* (2018), o desgaste dos martelos impacta diretamente no rendimento do equipamento.

No mercado existem à disposição martelos de diferentes tamanhos, diversas formas e composições e com variados tratamentos, tanto térmicos como de revestimento. Diante do exposto, este estudo visa avaliar o desempenho do material atualmente utilizado nos martelos de uma indústria, considerando suas especificações técnicas e também as características da matéria-prima e do produto moído. Ademais, sugerir a utilização de um novo material.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a possibilidade técnica e econômica de substituição do material de fabricação dos martelos para moinhos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir características técnicas dos martelos utilizados;
- Calcular o Diâmetro Geométrico Médio (DGM) por amostragem dos produtos moídos pelos martelos;
- Avaliar custo e vida útil dos martelos atuais.
- Sugerir um novo material para utilização na fabricação dos martelos.
- Realizar os mesmos testes nos martelos com o material sugerido.
- Analisar o desgaste dos martelos comparando os diferentes tipos de materiais.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo levantamento realizado pelo Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal (SINDIRAÇÕES) (2021), no primeiro semestre de 2020, a produção de ração animal no Brasil foi de 37,2 milhões de toneladas, sendo registrado um aumento de 5,2% em relação ao mesmo período de 2019, evidenciando a importância e o crescimento do setor. Em paralelo, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2018) relata que, no ano de 2016, foram consumidas cerca de 24 milhões de toneladas de milho na suinocultura.

Tendo em vista que a moagem é um processo fundamental para obtenção de uma melhor conversão alimentar e uniformização de partículas (Polese *et al.* 2010) e que a moagem pode consumir até 70% da energia total utilizada no processo de fabricação de ração farelada animal (Dabbour *et al.* 2015), é de suma relevância a melhoria contínua no processo, objetivando uma maior vida útil dos componentes, menor consumo de energia e redução do tempo no processamento das matérias-primas.

Diante deste cenário, a pesquisa propõe a substituição do material de fabricação dos martelos para obter maior durabilidade, menor custo de manutenção e melhor diâmetro geométrico médio, considerando que estes componentes de desgaste tem um alto custo, agravado pela necessidade de troca periódica.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Qual a possibilidade técnica e econômica de substituição do material de fabricação de

martelos utilizados em indústria de ração para suínos?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada na unidade industrial de uma Cooperativa Nacional localizada em Toledo, Paraná. O estudo teve como base um moinho de martelos modelo TM-250 de uma fabricante brasileira, utilizado para triturar milho em uma linha de produção de ração animal peletizada para suínos.

A partir da análise, buscou-se definir entre os dois modelos de martelos testados qual teve o melhor desempenho com menor custo no processo de moagem na indústria de ração para suínos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIA

A denominação de indústria refere-se ao conjunto de atividades econômicas que tem por fim a exploração e manipulação de matérias-primas e fontes energéticas que o homem realiza de forma organizada, com a assistência de ferramentas e máquinas.

A história da indústria iniciou quando o homem elaborou suas ferramentas e armas transformando as matérias-primas que tinha, que inicialmente eram rochas e madeira, e tempos depois, os metais. Com o avanço da civilização, surgiram os artesãos, grupo social responsável por produzir o que a sociedade precisava. O artesanato é marcado pelo fato de o artesão ser o responsável por todas as partes da produção, desde o desenvolvimento dos produtos até a venda.

Acompanhando o desenvolvimento das sociedades e o surgimento do capitalismo, emergiu a manufatura, onde os operários dividiam as tarefas. Com o passar do tempo, a produção evoluiu das simples manufaturas para a utilização de máquinas mais complexas, substituindo, em certa escala, o trabalho manual. Apesar do emprego de máquinas, no início a indústria atendia apenas a demanda local e utilizava matérias-primas do setor primário.

Essa substituição da mão de obra por máquinas resultou em um aumento da produtividade e, conseqüentemente, da demanda por insumos. Para atender a este crescimento alavancado pela indústria, foi necessária a evolução dos meios de transportes para pessoas e mercadorias, impulsionando o desenvolvimento de cidades e, posteriormente, a criação da locomotiva a vapor.

Segundo Gobi e Castilho (2016), a importância do setor industrial é destacada em diversos estudos econômicos, sendo este setor considerado por diferentes pesquisadores como o motor para o crescimento econômico. No Brasil, ocorreram importantes modificações na estrutura produtiva nas últimas décadas, onde o Produto Interno Bruto (PIB) está intimamente relacionado ao crescimento industrial.

De acordo com Júnior (2018), as indústrias trabalham diante das mudanças nos cenários econômicos, sociais, ambientais e tecnológicos que exigem que tais organizações adotem, constantemente, novas estratégias para melhorar a qualidade em seus processos e produtos.

Nesta perspectiva, observa-se que a melhor prática é o aumento da eficiência nos

processos de fabricação. Os avanços na eficiência do processo produtivo geralmente ocorrem de forma individual. Alguns exemplos como: o uso da robótica ou o uso do laser aplicados ao nível de fabricação; uso de nano materiais, fibra de carbono ou biomateriais ao nível de tecnologias de materiais são avanços que promovem ganhos significativos.

2.2 MOINHOS

Entende-se por moinho o engenho que é destinado à moagem, principalmente de cereais, podendo ser movido por água, vento ou motor. A moagem consiste no processo de redução de tamanho das matérias-primas, através da compressão, abrasão e impacto.

Ribeiro e Abrantes (2001) destacam que o objetivo geral do processo de moagem é a diminuição do tamanho das partículas de um material sólido, tendo em vista o aumento da superfície específica para melhorar a velocidade de reação de determinada matéria-prima, misturar de um modo mais uniforme vários materiais e permitir a obtenção de um pó com as características ideais de utilização.

De acordo com a finalidade, podem ser utilizados diferentes tipos de sistemas de moagem, como moinhos de discos, moinhos de martelos, moinhos de rolos, trituradores de mandíbulas, moinhos de bolas, entre outros.

2.2.1 Moinho de rolos

É possível encontrar moinhos de rolos em diversos tamanhos e capacidades, partindo dos pequenos moinhos caseiros para malte, grãos, café e outros, até grandes moinhos para indústrias de mineração.

Comumente, o moinho de rolos é utilizado nas atividades ligadas à pecuária. Tem a capacidade de entregar uma moagem mais fina, grande parte entre 1,25 a 2 mm, aumentando a degradabilidade do grão, mas, por outro lado, exige maiores cuidados com a dieta e distúrbios metabólicos.

Conforme demonstra a Figura 1, o moinho de rolos pode possuir dois ou mais cilindros que giram em direção contrária com velocidades distintas, onde, ao passar pelos cilindros, o milho recebe uma força de compressão. No mercado, ainda existem moinhos de rolos que comprimem o material moído contra a parede do moinho, possuindo assim, apenas

um rolo.

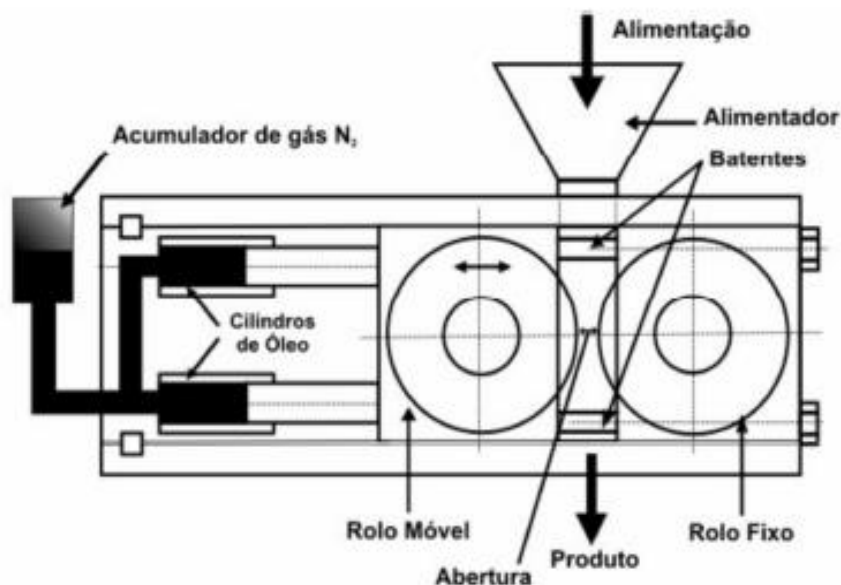


Figura 1: Esquema de funcionamento de moinho de rolos.

Além disso, a prensa vem substituindo britadores terciários e quaternários, principalmente pela possibilidade de gerar uma elevada quantidade de finos com um baixo consumo de energia e reduzido desgaste (VARELA, 2011).

2.2.2 Moinho de discos

O moinho de discos, conforme pode ser visualizado na Figura 2, é formado por um ou dois discos que giram e um outro disco fixo. O alimento a ser moído é comprimido pelos discos giratórios contra o disco fixo. Este tipo de moinho geralmente é utilizado para processamento de alimentos fibrosos. Ao final do processo de moagem, o moinho entrega um produto de granulação fina.

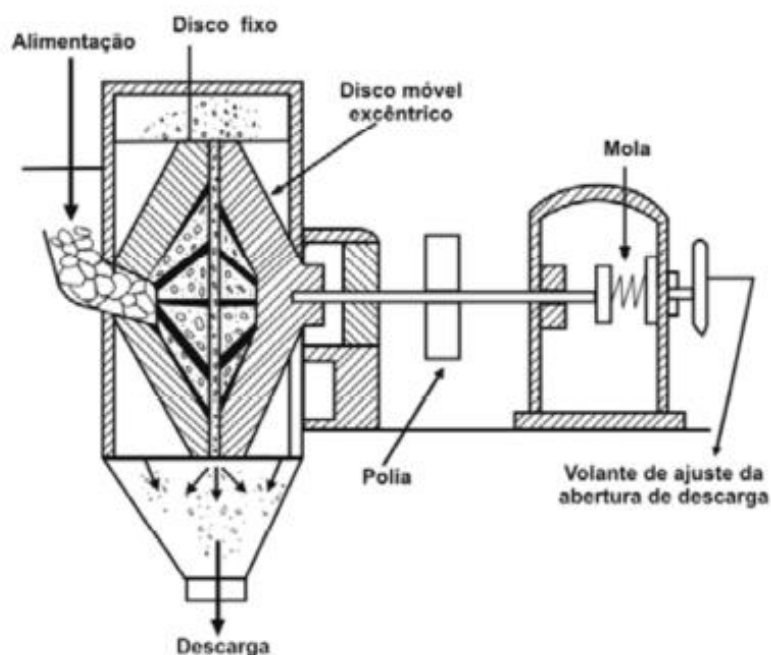


Figura 2: Esquema de processamento de moinho de discos.

2.2.3 Moinho de bolas

O moinho de bolas, representado pela Figura 3, é composto por várias esferas dentro de um cilindro regular, de material pesado e resistente. Neste caso, os responsáveis pelo processo são o impacto e a força das bolas no material a ser moído. Esse moinho é mais utilizado com o intuito de obter um produto final com baixa granulometria, como por exemplo amendoins, castanhas, amêndoas e polpa de cacau, portanto, menos usual na pecuária.

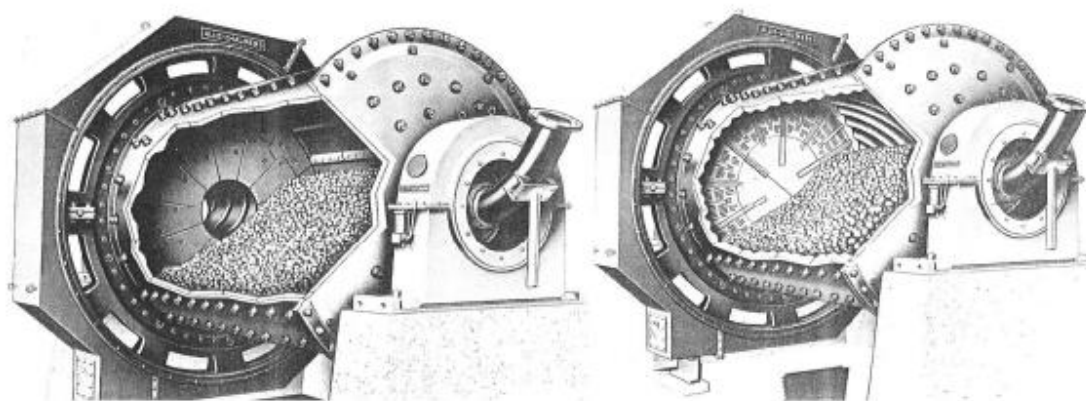


Figura 3: Representação de moinho de bolas.

2.2.1 Moinho de martelos

O moinho de martelos é amplamente empregado na indústria brasileira, sendo utilizado inclusive para a fabricação de ração animal. Com um processo relativamente simples, evidenciado nas Figuras 4 e 5, o moinho de martelos dispõe de um motor elétrico para ser acionado. Este motor é ligado a um eixo principal através de um elemento de acoplamento.

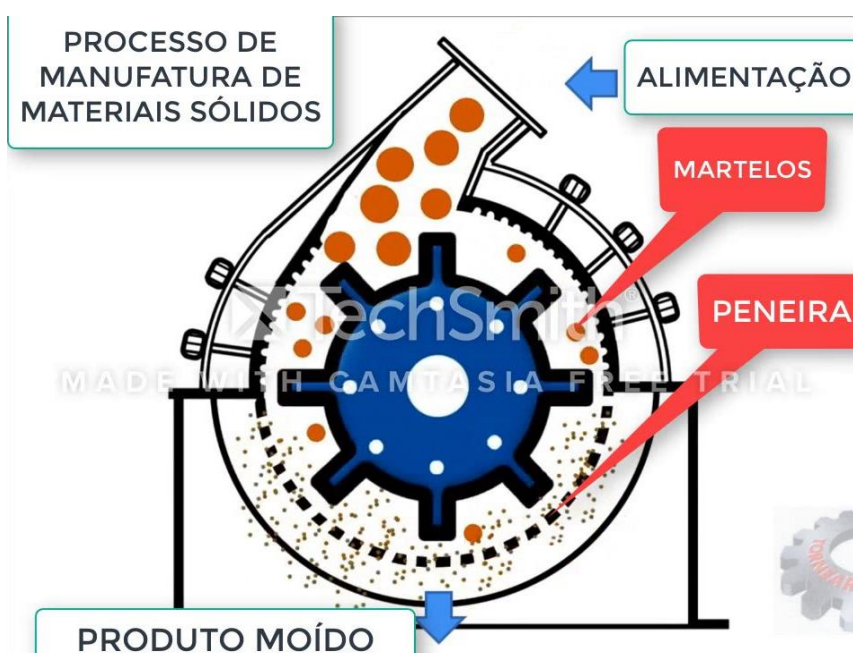


Figura 4: Esquema de processamento do moinho de martelos.

O eixo principal faz parte de um rotor, com eixos secundários nos quais são fixados os martelos. Comumente, a alimentação com produto é realizada por uma abertura superior e nas estruturas laterais e inferior encontra-se uma ou mais peneiras. Estas peneiras tem a função de somente deixar passar o produto que já se encontra na dimensão granulométrica desejada.

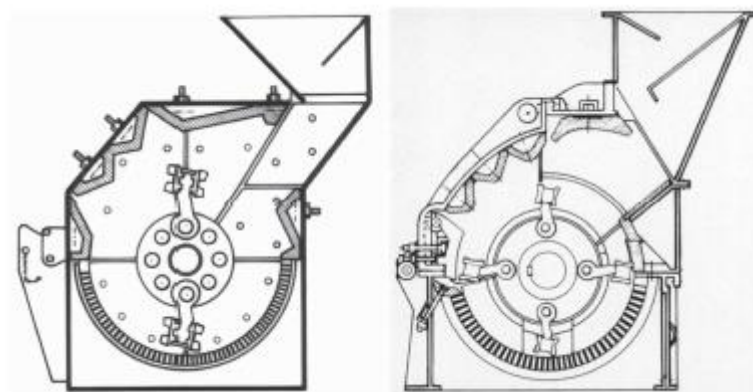


Figura 5: Representação em corte de moinho de martelos.

Segundo Ouros *et al.* (2014), a moagem é um dos principais pontos de uma fábrica de rações, sendo que sua consistência produz expressivo impacto na qualidade final dos produtos. Em geral, a redução do tamanho das partículas, por moagem ou prensagem, melhora o desempenho do animal no campo, através da conversão alimentar, por isso, o controle desse processo é fundamental.

2.3 NUTRIÇÃO ANIMAL

De acordo com Andriguetto *et al.* (1981), a nutrição animal, através da alimentação racional, tem por objetivo fornecer os alimentos necessários e capazes de manter a vida e entregar a produção que se espera de um animal ou um grupo de animais, com a melhor possibilidade de rendimento.

Andrade (2020) considera que a nutrição animal teve início com a domesticação, como forma de garantir o manejo dos animais em uma área limitada. Com a restrição do espaço para os animais, o homem observou a necessidade de fornecer alimento aos mesmos, oferecendo o que havia disponível na natureza.

O autor ainda destaca que, no século 20, houve a maioria das descobertas dos nutrientes, movidas pela crescente demanda de alimentos ocasionada pelo aumento populacional. Neste século, já era trabalhado com avanços genéticos, melhoria de ingredientes e formulação das dietas para os animais.

No cenário atual, esta realidade evoluiu bastante. Observa-se, por exemplo, na Figura 6, que no ano de 2016, a indústria de nutrição animal atingiu a marca de produção de 1 bilhão de toneladas de ração em todo o mundo, destacando um aumento de 3,7% em relação ao ano

de 2015. Também na Figura 6, nota-se a participação do Brasil na produção deste número.

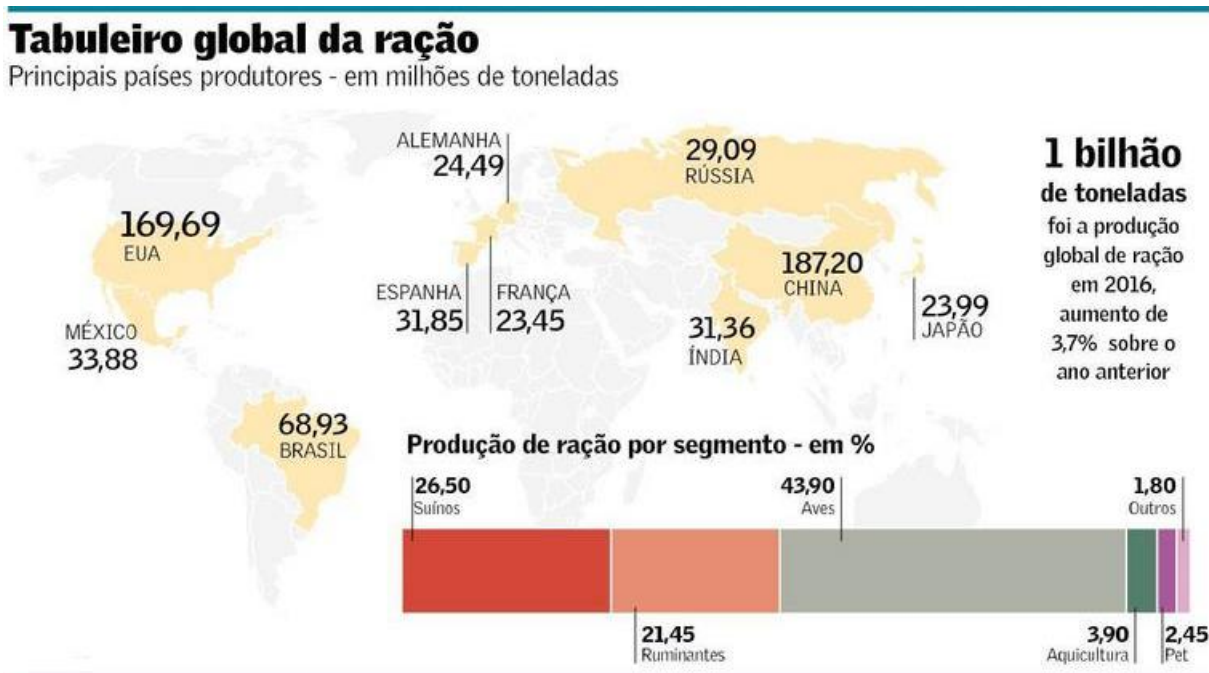


Figura 6: Principais países produtores de ração em 2016.

(Fonte: Valor Econômico, 2016).

Dentro da nutrição animal, um dos principais indicadores para medir a produtividade é a conversão alimentar, que pode ser transcrita como necessidade alimentar por unidade de ganho de peso (KESSLER, 2001). Neste sentido, a eficiência no processo produtivo impacta diretamente na qualidade da ração e nos resultados dos lotes de animais.

2.4 GRANULOMETRIA

A granulometria é um método de análise que tem por fim classificar os grânulos de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as quantidades de cada tamanho. Na prática, ela é utilizada para caracterizar o tamanho das partículas de um produto moído, através do Diâmetro Geométrico Médio (DGM).

Considerando que o milho é o ingrediente em maior proporção nas rações de suínos (75%) e a principal fonte energética para tais rações, a diminuição no DGM das partículas do milho de aproximadamente 1.000 para 500 micrômetros promove benefícios no desempenho dos suínos, em termos de diminuição de consumo de ração (até 27 kg de ração por suíno

terminado, comparado com outro de mesma idade e peso ao abate) e melhoria na conversão alimentar (em até 9%), sem afetar o ganho de peso (EMBRAPA, 1999).

O estudo da EMBRAPA (2011) destaca que trabalhando com o DGM do milho entre 509 e 645 micrômetros na ração, é possível obter uma economia entre 20 a 27 kg de ração/suíno, comparado à utilização do milho com DGM de 799 a 1.026 micrômetros. Ainda cabe ressaltar que a granulometria deve ser obtida através do DGM, não devendo ter como base apenas o diâmetro do furo da peneira do moinho.

2.4.1 GranuCalc

O GranuCalc é um software desenvolvido pela Embrapa Suínos e Aves de Concórdia (SC), unidade descentralizada da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil, que tem a finalidade de calcular o Diâmetro Geométrico Médio (DGM) e o Desvio Geométrico Padrão (DGP) de partículas de ingredientes para rações de frangos de corte e de suínos.

É possível utilizar o software a partir do método fixo, com aberturas de peneiras pré-definidas, ou alternativo, em que podem ser inseridas as peneiras utilizadas no laboratório em questão.

Depois do software realizar o cálculo, ele gera um relatório, conforme apresentado na Figura 7. É possível observar os resultados em gráficos e tabelas, considerando diferentes níveis de informações, como: percentagem e peso de amostra retida em cada peneira, ilustração gráfica da distribuição de partículas retidas e interpretação gráfica da adequabilidade do DGM em relação às recomendações para suínos e aves.

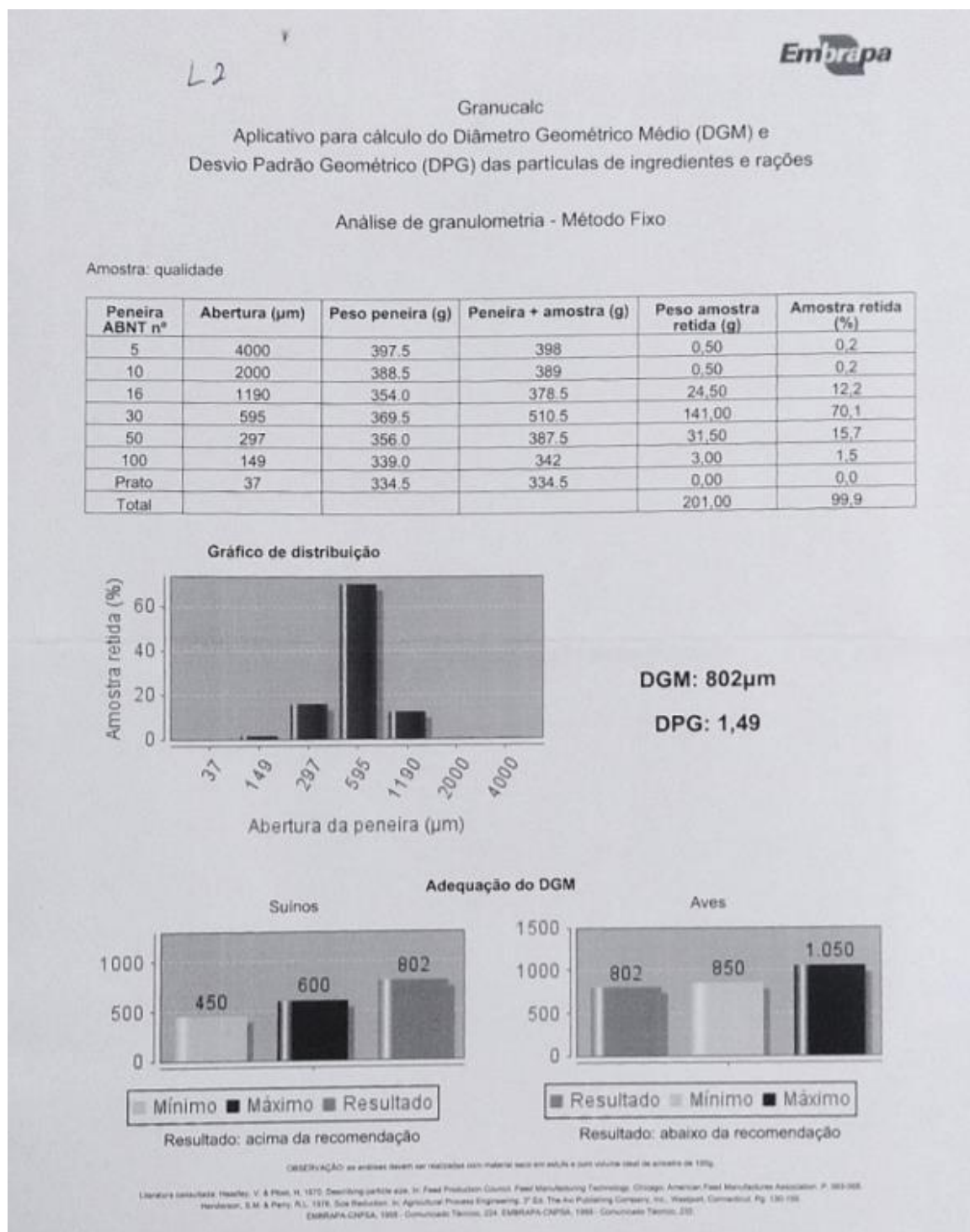


Figura 7: Exemplo de relatório fornecido pelo Granulcalc.

2.5 RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

O desenvolvimento de cálculos desde as civilizações mais antigas, paralelo à busca e domínio do conhecimento da resistência da matéria e principalmente da construção das

estruturas mais variadas, fez o homem estudar o que é conhecido hoje como resistência dos materiais.

De acordo com Hibbeler (2004), a resistência dos materiais é o ramo da mecânica que estuda as relações entre cargas externas aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das forças internas que atuam dentro do corpo. Análise que abrange o cálculo das deformações do corpo e o estudo da sua estabilidade quando submetido à solicitações externas.

Requisito básico para praticamente qualquer assunto relacionado à engenharia, a resistência dos materiais tem papel fundamental no desenvolvimento de equipamentos, peças e principalmente em projetos de redução de custos e eficiência energética. Aplicando os fundamentos e análises em uma máquina e suas peças de desgaste, é possível avaliar e melhorar processos, definir melhores geometrias e materiais aplicados para otimizar a produtividade, tendo como norteador o menor custo.

Ao longo do processo de moagem, os martelos sofrem grandes perdas de massa, alterando intensamente a sua conformação, devido ao impacto constante e o desgaste abrasivo, relata Figueiredo (2013). A operação contínua, dentro de um grau adequado de confiabilidade, depende, portanto, da melhoria dos martelos de faca, principalmente na resistência dos materiais.

Na prática, o desgaste deste tipo de componente representa um grande fator de depreciação e traduz-se na principal origem de despesas com manutenção e reposição dos itens mecânicos de moinhos. De modo que, sobre os custos da produção, o desgaste influencia diretamente através do custo de peças desgastadas e de sua reposição, sem contar com as perdas de produtividade decorrentes das horas paradas para substituição, manutenção ou reparos.

2.5.1 Dureza dos materiais

A dureza é a representação da resistência que uma superfície oferece quando atritada à outra e varia de acordo com a estrutura cristalina do minério. Como exemplo temos o vidro, o quartzo e o diamante, que são materiais definidos como duros (que riscam outros materiais), inclusive são resistentes à abrasão e podem ser também quebradiços (GALLERY, 2011).

Um dos principais índices utilizados para classificar a dureza do material é a escala de Mohs, que possui valores de 1 a 10, sendo que o valor 1 é referente a materiais menos duros, representado pelo talco, e o valor 10 é dado ao diamante, o material mais duro conhecido na

natureza. É importante ressaltar que esta escala não corresponde à dureza absoluta de um material.

2.5.2 Resistência a compressão

A ação das forças de compressão provoca a deformação da partícula, o que gera tensões internas de cisalhamento, onde essas tensões de cisalhamento expandem pelo grão, ficando concentradas nas regiões onde a fraqueza estrutural é maior. É nas trincas pré-condicionadas ou pré-existentes, devido a algum processo de fragmentação anterior, que estão localizadas as principais regiões de fraqueza estrutural (GALERY, 2011).

Ainda de acordo com Galery (2011), a tensão que provoca a ruptura da partícula fica concentrada na extremidade da trinca. Especificamente neste ponto, as ligações químicas se encontram sob máxima tensão. As ligações químicas se rompem quando a tensão supera as mesmas e a trinca de maneira acelerada e desordenada se propaga. Após ocorrer a ruptura e uma vez cessada a força de compressão, os fragmentos resultantes voltam a sua forma de equilíbrio.

2.5.3 Tenacidade

A definição de tenacidade faz referência a resistência do material ao rompimento por compressão, tração ou impacto. É a medida da capacidade que um material pode absorver de energia antes de fraturar. É possível encontrar diversos sinônimos ou termos associados à mesma definição de tenacidade: friável (frágil, quebradiço), dúctil, maleável, flexível, sétil e elástico. Galery (2011) ainda destaca que a tenacidade e a dureza correspondem à forma que os materiais minerais respondem e suportam as forças a que são submetidos de fragmentação.

2.6 MATERIAIS

Há uma grande variedade de martelos para moinhos disponíveis no mercado, de diversos formatos, tamanhos e materiais. O aço ferramenta VC-131 é o material atual que a indústria objeto deste estudo utiliza em seus martelos de moinhos.

Já o aço Hardox® 500 foi o material sugerido para substituição, tendo em vista dois motivos: o primeiro é que este aço já está disponível na fabricação de martelos, e o segundo é

que ele pode apresentar uma dureza Brinell até 10x maior do que o aço utilizado atualmente.

2.6.1 Aço ferramenta VC-131

O aço ferramenta VC-131, também conhecido como AISI D6, é comumente utilizado na produção de ferramentas de corte, como punções e matrizes e também em outros segmentos da indústria. Segundo a PKM (2021), empresa fornecedora de aços, o aço VC-131 é, sobretudo, indicado para o trabalho industrial a frio, considerando que a sua dureza pode chegar a 62,0 HRC em condições temperadas e revenidas.

O aço ferramenta VC-131 apresenta a seguinte composição, conforme apresentada na Tabela 1:

Tabela 1: Composição química do aço ferramenta VC-131.

Composição química:	
Carbono (C)	2,10%
Silício (Si)	0,40%
Manganês (Mn)	0,30%
Cromo (Cr)	11,50%
Tungstênio (W)	0,70%
Vanádio (V)	0,20%

2.6.2 HARDOX® 500

O aço Hardox® foi desenvolvido pela Swedish Steel Comércio de Aço Ltda (SSAB), empresa siderúrgica sueca que é referência mundial em fabricação de chapas de alta resistência. O projeto do Hardox® tem como principal objetivo fornecer e garantir alta produtividade com baixo custo de manutenção.

Segundo a SSAB (2021), o aço Hardox® possui uma dureza nominal de 500 HBW, sendo ideal para situações que necessitam de maior resistência ao desgaste, sendo que um dos principais pontos que garantem maior durabilidade é devido a dureza mínima do núcleo ser de 90% da dureza mínima garantida da superfície, que neste caso é de 470 HBW.

O aço Hardox®, ainda segundo a SSAB (2021), apresenta a seguinte composição (Tabela 2):

Tabela 2: Composição química do aço Hardox 500.

Composição química:	
Carbono (C)	0,27%
Silício (Si)	0,50%
Manganês (Mn)	1,60%
Fósforo (P)	0,025%
Enxofre (S)	0,01%
Cromo (Cr)	1,20%
Níquel (Ni)	0,25%
Molibdênio (Mo)	0,25%
Boro (B)	0,005%

Também é importante ressaltar que o aço em questão não é recomendado para tratamentos térmicos posteriores, tendo em vista que suas propriedades mecânicas são obtidas através de têmpera e, em alguns casos, por revenimento subsequente. A recomendação do fabricante é de não submeter o material a temperaturas acima de 250 °C.

3. METODOLOGIA

Como base para desenvolver o estudo e alcançar os objetivos propostos, utilizou-se a pesquisa descritiva, com uma metodologia experimental. Desta forma, a coleta de dados foi realizada em um moinho de martelos TM-200 da fabricante nacional IMOTO. Sendo que tal equipamento utiliza um motor WEG de 250 CVs e 4 polos, portanto 1800 RPM, com dois rotores compostos por 6 eixos secundários em cada rotor e em cada eixo 12 martelos, totalizando 144 martelos no equipamento, de acordo com as Figuras 8 e 9.



Figura 8: Moinho de martelos TM-250.



Figura 9: Moinho de martelos TM-250: câmara de moagem.

Tendo em vista o objetivo de ressaltar se há diferença na durabilidade especificamente relacionada ao material utilizado nos martelos, foram utilizados martelos de mesmo formato geométrico para a análise comparativa (Figuras 10 e 11). O martelo tem medidas externas padrão de 60 mm de altura por 155 mm de profundidade e 6 mm de espessura.



Figura 10: Martelo padrão utilizado no moinho TM-250.

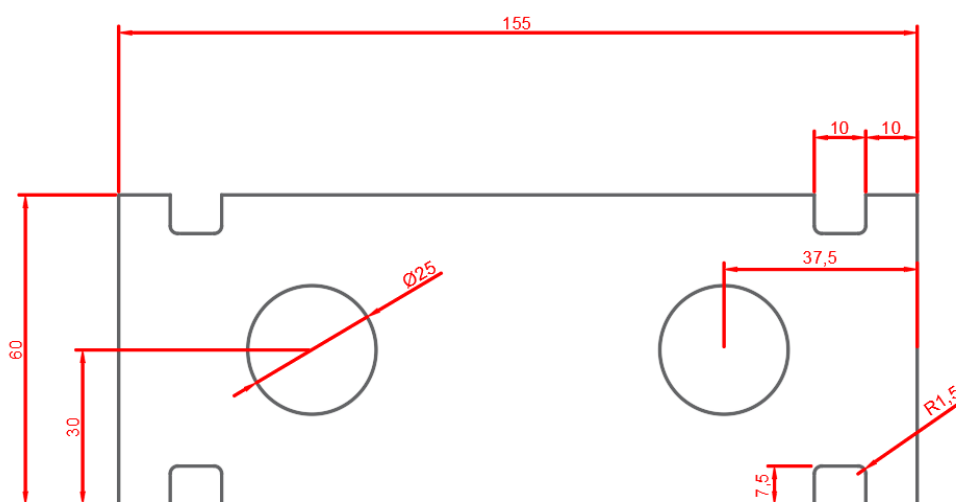


Figura 11: Desenho do martelo com medidas.

Como parâmetro para troca dos martelos, a empresa analisada tem como padrão a substituição dos jogos de martelos quando o desgaste do canto chega ao final da respectiva

cava, conforme podemos observar destacado na figura 12:

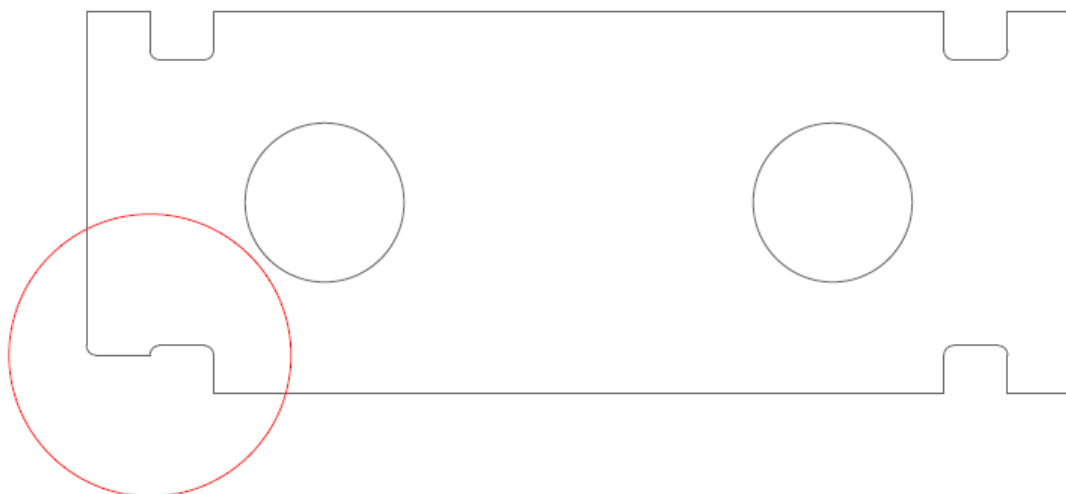


Figura 12: Padrão de desgaste para troca do martelo.

O monitoramento do desgaste dos martelos é realizado através de uma inspeção visual pelo operador da linha a cada troca de turno. Como existem 3 turnos a inspeção é realizada a cada 8 horas de produção. Além do desgaste do martelo, são avaliadas as condições gerais do equipamento, como o estado das peneiras (afim de encontrar algum ponto onde possa estar passando produto fora do padrão), lubrificação, aquecimento e vibração. Nesta mesma inspeção é realizado uma coleta de amostra de produto moído para análise de DGM.

Nesse sentido, a coleta de dados aconteceu em duas etapas. No primeiro momento, foram realizadas moagens com os martelos novos, utilizando a quantidade de milho de 2.000 kg. A partir dessa moagem, foi feita a coleta de uma amostra para análise do DGM do produto moído por cada tipo de martelo.

A análise granulométrica foi realizada através do aparelho Agitador de peneiras para análises granulométricas eletromagnético do fabricante Bertel Indústria Metalúrgica LTDA, conforme indicado pelas Figuras 13 e 14. Com o resultado da análise granulométrica, foi avaliado se o tipo do material exerce influência no DGM do produto.



Figura 13: Plaqueta de identificação do agitador de peneiras.

O equipamento é composto por 6 peneiras de diferentes aberturas para realizar a análise, que segue algumas etapas para garantir a confiabilidade do processo:

- 1º - As peneiras e o cesto de fundo do equipamento devem ser limpos e pesados;
- 2º - Caso houver desvio no peso padrão de alguma peneira, o mesmo deve ser registrado;
- 3º - É separada e pesada uma quantia de 200 gramas como amostra do produto moído para ser analisado;
- 4º - A amostra de 200 gramas deve ser colocada na peneira superior.
- 5º - O equipamento é ligado na intensidade 8 pelo tempo de 10 minutos (o equipamento possui um *timer* mecânico).
- 6º - É pesada e registrada cada peneira com o produto que ficou retido na mesma.
- 7º - Devem ser inseridos os dados obtidos no software Granucalc para gerar o relatório fornecido pelo programa, demonstrando o DGM e DGP.



Figura 14: Agitador de peneiras.

A balança utilizada para realizar todas as pesagens é uma balança Toledo do Brasil, modelo 3400/1, referenciada nas Figuras 15, 16 e 17, que possui uma programação de calibração mensal. A mesma tem capacidade mínima de 10 g, máxima de 2,5 kg e uma divisão de 0,5 g.

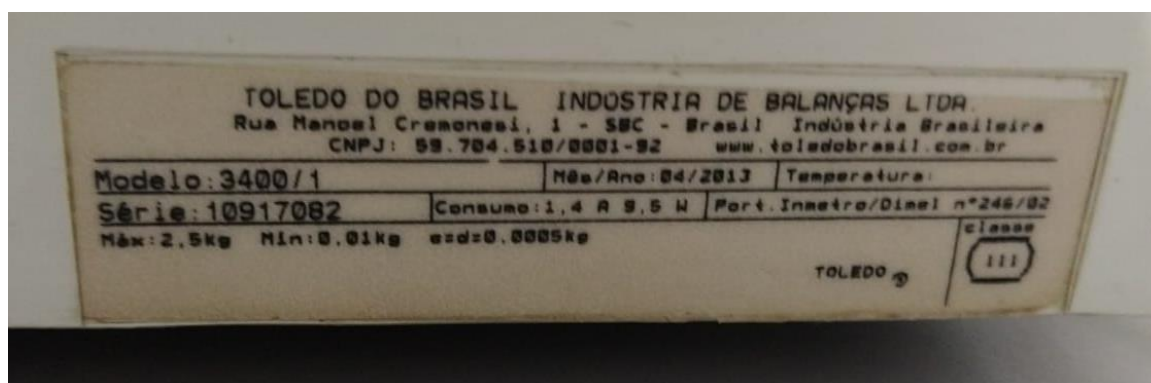


Figura 15: Placa de identificação da balança.



Figura 16: Balança Toledo.



Figura 17: Identificação das capacidades da balança.

Na segunda etapa, foi realizado um teste de resistência dos martelos em função da quantidade de produto moído e do tempo de funcionamento do equipamento. Para realizar tal coleta de dados, foi utilizado o sistema de monitoramento da indústria, que apontou a quantidade de produto processado. Assim, através de medições em todos os martelos, evidenciou-se o desgaste médio dos mesmos.

Também foi medido o tempo da máquina parada para troca e inversão do conjunto de martelos, a fim de estimar os custos que tal procedimento representava na equipe de

manutenção, além de estimar o valor que era deixado de produzir devido a paralisação da máquina para troca de tais componentes.

Como o formato geométrico do modelo de martelo utilizado permite, foi realizado o teste consumindo as quatro extremidades dos componentes. Para que a utilização das extremidades do mesmo martelo fosse possível, foi necessário realizar dois procedimentos: o primeiro, de inversão de rotação do giro do motor do moinho que acontece de forma automática, através da automação da indústria, em que o próprio operador consegue realizar com poucos cliques.

Já o segundo procedimento é a inversão física do martelo, onde o mesmo dispõe de dois furos, disponibilizando os outros dois cantos do martelo para uso. Esse procedimento requer um tempo de máquina parada e cerca de três manutentores para a execução. Bem parecido com o procedimento de substituição de martelos, foi necessário:

1º - Desligar o equipamento.

2º - Realizar os bloqueios elétricos e mecânicos do equipamento, a fim de garantir a segurança e integridade das pessoas envolvidas na tarefa.

3º - Realizar a desmontagem dos eixos secundários, martelos e buchas espaçadoras (neste ponto é de suma importância que a equipe de manutenção mantenha a sequência de martelos já utilizados para manter o balanceamento do equipamento como um todo).

4º - Montar os martelos, buchas espaçadoras e eixos secundários, invertendo apenas o furo de utilização do martelo.

5º - Fechar e desbloquear o equipamento.

6º - Liberar o equipamento para produção.

O procedimento de troca dos martelos, por sua vez, foi realizado da seguinte forma:

1º - Separar e pesar os martelos conforme quantidades necessárias por eixo secundário.

2º - Desligar o equipamento.

3º - Realizar os bloqueios elétricos e mecânicos do equipamento, a fim de garantir a segurança e integridade das pessoas envolvidas na tarefa.

4º - Realizar a desmontagem dos eixos secundários, martelos e buchas espaçadoras.

5º - Montar os martelos, buchas espaçadoras e eixos secundários, respeitando os jogos montados durante a pesagem para obter o melhor balanceamento do equipamento.

6º - Fechar e desbloquear o equipamento.

7º - Liberar o equipamento para produção.

4. RESULTADOS

Conforme descrito na metodologia, a análise foi realizada em duas etapas. Na primeira, foi analisado o DGM com a utilização dos martelos com os dois diferentes tipos de materiais e obtidos os valores de DGM de 575 μm para o material aço ferramenta VC-131 (análise realizada no dia 15/03), 581 μm para o segundo jogo do mesmo material (análise realizada no dia 03/05) e de 571 μm para o material aço Hardox 500 (análise realizada no dia 21/07).

Já a segunda etapa, de teste de durabilidade dos martelos, teve início no dia 14/03/2021, sendo instalado o primeiro jogo de martelos feito com material VC-131, conforme Figura 18:

TOL-4191-21: FAZER A TROCA DE MARTELOS E DOS EIXOS TM02
AVALIAÇÃO
09/03/2021 às 15:15 - foi aberta a SS: 1544, por: LUIZ DONIZETE DE SOUZA 10/03/2021 às 10:07 - foi aprovada a SS, gerando a OS: TOL-4191-21, por: OSIEL DA SILVA *** OS: TOL-4191-21 concluída no dia 14/03/2021, por: ALVACIR SOUZA DE ANDRADE

Figura 18: Ordem de serviço de troca de martelos em 14/03/2021.

No dia 08/04/2021 foi realizada a inversão de furo do jogo de martelos instalado no dia 14/03/2021. Portanto, em um período de 25 dias de produção foi consumido dois cantos do primeiro jogo de martelos, conforme ordem de serviço apresentada na Figura 19:

TOL-4642-21: INVERTER MARTELO GASTO
AVALIAÇÃO
08/04/2021 às 12:35 - foi gerada a OS: TOL-4642-21, por: CARLOS ALESSANDRO LUCAS 08/04/2021 de 11:00 às 13:00 - INVERTER MARTELO Realizado por: CARLOS ALESSANDRO LUCAS *** OS: TOL-4642-21 concluída no dia 08/04/2021, por: CARLOS ALESSANDRO LUCAS

Figura 19: Ordem de serviço de inversão de martelos em 08/04/2021.

Em 30/04/2021, a equipe de manutenção realizou a troca do primeiro conjunto de martelos composto por VC-131 e instalou um segundo jogo do mesmo composto, conforme consta na Figura 20. Concluindo que a vida útil do primeiro martelo foi de 47 dias de

produção. Através do sistema de automação e controle presente na indústria, apurou-se também que o equipamento moeu 8.731.233,5 kg de milho neste período.

TOL-5132-21: TROCA DOS MARTELOS DO TM 02
AVALIAÇÃO
29/04/2021 às 11:02 - foi gerada a OS: TOL-5132-21, por: JEAN LUCAS DE ANDRADE
*** OS: TOL-5132-21 concluída no dia 30/04/2021, por: JEAN LUCAS DE ANDRADE

Figura 20: Ordem de serviço de troca de martelos em 30/04/2021.

Após a instalação do novo jogo de martelos composto por VC-131, o mesmo apresentou a necessidade de ser invertido em 10/06/2021, completando 41 dias de produção utilizando dois cantos do jogo de martelos, conforme nova ordem de serviço apresentada na Figura 21.

TOL-5789-21: TROCAR MARTELOS E EIXOS DO TM02 - SS: 2164
AVALIAÇÃO
08/06/2021 às 07:37 - foi aberta a SS: 2164, por: CELSO NUNES DA SILVA 08/06/2021 às 11:39 - foi aprovada a SS, gerando a OS: TOL-5789-21, por: RAFAEL HENRIQUE ROSSI 10/06/2021 de 08:56 às 12:47 - Invertido posição dos martelos Realizado por: ALVACIR SOUZA DE ANDRADE
*** OS: TOL-5789-21 concluída no dia 10/06/2021, por: ALVACIR SOUZA DE ANDRADE

Figura 21: Ordem de serviço de inversão de martelos em 10/06/2021.

O fim da vida útil do segundo jogo de martelos composto por VC-131 deu-se em 20/07/2021, apresentando um ciclo de 81 dias de produção com o processamento de 15.575.599,00 kg de milho, conforme demonstra a Figura 22.

TOL-6765-21: TROCAR MARTELOS DO TM02
AVALIAÇÃO
20/07/2021 às 08:26 - foi gerada a OS: TOL-6765-21, por: OSIEL DA SILVA 20/07/2021 de 08:54 às 12:01 - Trocado eixos e martelos. Realizado por: ALVACIR SOUZA DE ANDRADE
*** OS: TOL-6765-21 concluída no dia 20/07/2021, por: ALVACIR SOUZA DE ANDRADE

Figura 22: Ordem de serviço de troca de martelos em 20/07/2021.

No dia 20/07/2021, foi instalado no equipamento o primeiro jogo de martelos

composto pelo material sugerido, o Hardox 500. Este jogo foi inspecionado na data de 30/10/2021, após 102 dias de produção com a moagem de 17.616.281,00 kg de milho.

Durante a inspeção, constatou-se que foi utilizado apenas um dos quatro cantos do martelo, e que o mesmo apresentava um desgaste pouco expressivo, sendo possível utilizá-lo por mais tempo. As Figuras 23, 24 e 25 demonstram a condição do jogo de martelos durante a inspeção.



Figura 23: Câmara de moagem com martelos de Hardox 500.



Figura 24: Detalhe da condição do martelo de Hardox 500 em 30/10/2021.



Figura 25: Comparativo de desgaste do martelo de Hardox 500 em 30/10/2021 com um martelo novo.

Com os dados fornecidos pela indústria, foi possível estimar os custos provenientes da parada de produção devido à intervenção para troca/inversão dos martelos:

- Capacidade de produção da linha: 15 toneladas por hora;
- Valor comercial médio por tonelada de ração: R\$ 2.200,00;
- Tempo de parada de linha em:
 - * 14/03/2021: parada de 02:15
 - * 08/04/2021: parada de 03:07
 - * 30/04/2021: parada de 01:55
 - * 10/06/2021: parada de 03:13
 - * 20/07/2021: parada de 02:07

Tempo total de parada: 12 horas e 37 minutos.

Valor comercial de ração não produzida devido à intervenção no moinho: R\$ 27.756,66.

A indústria também forneceu para o estudo o valor aproximado de custos da equipe técnica de manutenção, sendo:

- Custo mensal de um técnico de manutenção: R\$ 9.500,00;

- Custo de hora técnica: R\$ 52,77;
- Quantidade de horas técnicas utilizadas em cada intervenção:
 - * 14/03/2021: atividade de 02:35 com dois técnicos;
 - * 08/04/2021: atividade de 03:27 com três técnicos;
 - * 30/04/2021: atividade de 02:25 com dois técnicos;
 - * 10/06/2021: atividade de 03:37 com três técnicos;
 - * 20/07/2021: atividade de 02:22 com dois técnicos;

Total de horas técnicas: 35 horas e 56 minutos.

Custo em horas técnicas para realização das intervenções: R\$ 1.900,00.

Além dessas informações, foi obtido ainda acesso ao custo de compra de cada jogo de martelos, sendo que o jogo composto pelo material VC-131 foi adquirido por R\$ 3.900,00. Já o jogo composto por material Hardox 500 foi comprado pelo valor de R\$ 3.100,00.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo consiste em um trabalho de conclusão de curso, de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz. O tema de pesquisa foi referente à análise da possibilidade técnica e econômica de substituição do material de fabricação dos martelos para moinhos utilizados em indústrias de ração para suínos, sob a orientação do Professor Carlos Alberto Breda.

O trabalho teve como objetivo analisar os martelos atualmente utilizados em uma indústria de ração e, se necessário, sugerir a substituição do material de fabricação, visando reduzir custos relacionados a paradas para substituição de componentes e o aumento da vida útil dos componentes.

Considerando as análises realizadas de DGM dos 3 conjuntos de martelos, observou-se que a diferença entre eles é de 10 μm e as três amostras estão dentro do padrão esperado para produção de ração suína, o que, portanto, não foi considerado como relevante na comparação das análises.

Através das constatações, foi sugerido a utilização do Hardox 500 para fabricação de martelos para moinhos que se mostrou tecnicamente viável, tendo em vista que este já é um produto oferecido no mercado, sendo apenas necessário conferir as medidas do tamanho do martelo padrão.

A partir das análises realizadas, foi possível observar uma maior vida útil dos martelos utilizando o novo material sugerido, sendo que até a data de entrega deste trabalho (05/11/2021), não finalizou a utilização iniciada em 20/07, de nem um dos quatro cantos dos martelos, período bastante significativo se comparado a duração dos outros dois jogos, um deles sendo de 47 dias e o outro de 81 dias.

Com base nesta informação, entende-se que devido a durabilidade dos martelos utilizando o Hardox 500 ser superior a dos martelos de aço ferramenta VC-131, houve uma redução de custos do valor de produto que não deixou de ser produzido por parada da linha para inversão/troca dos componentes e também do custo com mão de obra técnica no equipamento.

Complementando a análise dos dados coletados, referente ao orçamento de compra dos conjuntos de martelos, o jogo de martelos de Hardox 500 ainda é R\$ 800,00 mais barato do que o composto por aço ferramenta VC-131.

Portanto, com base neste estudo de caso, conclui-se que o conjunto de martelos

compostos por Hardox 500 apresentaram viabilidade técnica e econômica para substituição dos martelos de aço ferramenta VC-131 em moinhos de martelos para indústrias de ração animal.

6. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Os conhecimentos obtidos através do desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso podem ser ampliados consideravelmente. Para tal intuito, podem ser consideradas as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- i) Medir o consumo energético e o tempo de moagem com a utilização das diferentes matérias-primas dos martelos;
- ii) Realizar um acompanhamento em longo prazo até o fim da vida útil dos martelos compostos por Hardox 500 e comparar o desgaste dos martelos de acordo com a quantidade de produto moído e horas de moagem;
- iii) Propor novo material para os martelos sendo a sugestão o aço para utilização em mandíbulas de britadores com manganês;
- iv) Estudar diferentes formatos e tamanhos de martelos, considerando também testar outros equipamentos;
- v) Avaliar moinhos utilizados para processamento de outros tipos de matérias-primas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. N. de. Nutrição animal no mundo em transformação. **Nutrinews Brasil**, jul. 2020. Disponível em: <<https://nutrinewsbrasil.com/nutricao-animal-no-mundo-em-transformacao>>. Acesso em: 20 de maio de 2021.
- ANDRIGUETTO, J. M. *et al.* **Nutrição Animal**. vol. 1. São Paulo: AMPUB Comercial LTDA, 1981.
- CHIODELLI, D. *et al.* Marteletores Desgastados Afetam Negativamente as Características Operacionais da Moagem e Físicas do Milho Processado em Moinho do Tipo Martelo. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, 2018.
- CONAB. **Análise Mensal do Mercado de Milho**. Brasília, 2018.
- 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. Disponível em: <<https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000482>>. Acesso em: 15 de maio de 2021.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Granulometria do milho em rações para engorda de suínos**. Concórdia, 1999.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Importância da conversão alimentar no crescimento e terminação**. São Paulo, 2011.
- FIGUEIREDO, M. B. S. **Estudo sobre a melhoria da performance de martelos usados em moinhos através da técnica de plasma**. 2013. Disponível em: <http://rexlab.unisul.br/junic/2013/arquivo_sistema/resumo_expandido_2013_17_09_22__5239010e3b703.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2021.
- GALERY, R. **Fragmentação de Minérios: Primeira Parte**. Belo Horizonte: UFMG, 2011.
- GOBI, J. R.; CASTILHO, M. L. **O dinamismo da indústria de transformação e o crescimento econômico no brasil no período de 1990 a 2013**. UEM, 2016.
- 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.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- JÚNIOR, L. de O. **Modelo de maturidade para a indústria 4.0 para PME's brasileiras: um estudo de caso em uma indústria de ração animal**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/>

4067/1/PB_PPGEPS_M_Oliveira%20J%c3%banior%2c%20Lib%c3%b3rio_2018.pdf>.
Acesso em: 01 de maio de 2021.

KESSLER, A. de M. **O significado da conversão alimentar para suínos em crescimento: sua relevância para modelagem e características de carcaça.** UFRGS, 2001.

OUROS, C. C. *et al.* **Análise Granulométrica de Milho em Diferentes Aberturas de Peneira de Moinho Tipo Martelo.** UNESP. 2014.

PKM – aços. **AÇO VC131.** Disponível em: <<https://www.pkmacos.com.br/aco-vc131>>.
Acesso em: 30 de Junho de 2021.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0102-09352010000600025>>. Acesso em: 17 de maio de 2021.

RIBEIRO, M. J. P. M.; ABRANTES, J. C. C. **Moagem em Moinho de Bolas: Estudo de algumas variáveis e otimização energética do processo.** Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Viana do Castelo – Portugal. 2001.

SINDIRAÇÕES - Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal. Setor de rações deve ter crescimento tímido em 2021, com menor consumo de carnes pelo brasileiro e altos custos dos insumos. **Sindirações**, abr. 2021. Disponível em: <<https://sindiracoes.org.br/setor-de-racoes-deve-ter-crescimento-timido-em-2021>>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

SSAB - Swedish Steel Comércio de Aço Ltda. **Hardox 500.** Disponível em: <<https://www.ssab.com.br/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=D66A6185E91248CA8DAA978E4DA8C879&language=pt-BR>>. Acesso em: 16 de Julho de 2021.

VARELA, J. Critérios de seleção de britadores aplicados ao processamento mineral. In: **XXIV ENTMME**, Salvador, 2011. p. 384-391.