

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CARLOS DIEGO JARDIM

**INOVAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO PELETIZADA
VISANDO EVITAR A PERDA DE UMIDADE NO PRODUTO FINAL**

PONTA GROSSA

2023

CARLOS DIEGO JARDIM

**INOVAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO PELETIZADA
VISANDO EVITAR A PERDA DE UMIDADE NO PRODUTO FINAL**

**Inovation in pellet feed manufacturing with aim to avoid the moisture loss of
the final product**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Profa. Dra. Giane Gonçalves Lenzi

PONTA GROSSA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa**



CARLOS DIEGO JARDIM

**INOVAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO PELETIZADA
VISANDO EVITAR A PERDA DE UMIDADE NO PRODUTO FINAL**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 22 de Agosto de 2023

Dra. Giane Gonçalves Lenzi, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Angelo Marcelo Tuset, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fernando Manzotti De Souza, Doutorado - Feitep - Faculdade de Engenharias e Arquitetura

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 06/11/2023.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor, doador da vida e da capacidade de realização de proezas para a humanidade! Em Cristo converge todas as coisas, tanto as do céu com as da terra (Ef 1:10).

À minha esposa, Erika, agradeço pelo amor, companheirismo, suporte e incentivo. Ela foi a razão de eu começar o mestrado e esteve ao meu lado mesmo quando não pude estar tão presente como eu gostaria. E ao meu filho Israel, que mesmo pequeno entendeu que o pai às vezes precisa se ausentar, mas que sempre vai estar por perto de coração.

À minha orientadora, Profa. Dra. Giane Gonçalves Lenzi, pela paciência, dedicação e zelo em sempre ajudar e pelos ensinamentos compartilhados.

À Cooperativa Agrária, representada pelos colaboradores, em confiar e disponibilizar a estrutura para a realização do projeto.

Aos amigos que participaram deste ciclo, em especial ao Hermano Pereira, que por diversas vezes contribuiu com conselhos e se importou em todo o trajeto.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado!

“Com a sabedoria se edifica a casa, e com a inteligência ela se firma; e pelo conhecimento se encherão as suas câmaras [...]”. Rei Salomão. *In*: Provérbios (BÍBLIA, 2023).

RESUMO

A perda de umidade é inerente ao processo de produção de ração peletizada, principalmente nas etapas de moagem e resfriamento do pelete (esta última inclusive é a etapa onde ocorre a maior redução da umidade do produto). Em relação a característica de qualidade “umidade” a ração possui um limite máximo descrito em legislação, porém não possui um mínimo. Por isso este parâmetro não era monitorado de perto de pelas fábricas em se tratando de ganho de processos. Porém com o aumento da necessidade de ganhos, redução de custo e a crescente demanda de ração as fábricas começaram a reduzir e/ou eliminar os desperdícios. E um meio para este fim é a inovação dos processos, que agregam tecnologia e muitas vezes ações simples para correção de problemas complexos. O objetivo deste estudo é analisar a redução da perda de umidade durante a fabricação de ração por meio de inovações de processo em diferentes etapas em uma fábrica de ração para ruminante na região sul do Paraná. Em resumo foram realizados ajustes na granulometria de moagem do material, adicionado aglutinante na mistura, reduzido a pressão de vapor no condicionamento e a etapa de resfriamento foi automatizada. Com as melhorias implantadas o indicador de rendimento global da planta aumento 1% em relação ao ano anterior, e o consumo de energia elétrica reduziu 5,9% no mesmo período.

Palavras-chave: fabricação de ração; pelete; controle de processo.

ABSTRACT

The loss of moisture be part of process of feed production, mainly in stages like milling and cooling (this last one is the stage where happens the most decrease the moisture of product). About the quality, characteristic "moisture" the feed has a limit maximum in legislation, but do not have a limit minimum. Because of this, that parameter was not monitored so closer by the factories when the aim is gain of process. However, with the increase of need of gain, decrease of cost and the increase of demand of feed the factories start to reduce and/or eliminate the wastes. In addition, a mean for this it is an innovation of process, that add technology and many times simple actions to solve hard problems. The aim of this study is to analyze the decrease of loss of moisture during the production of feed through innovations in different stages in a feed factory to ruminants located in south of Paraná. In summary were done adjusts in particle size of mill material, add binder at mixer, reduce the pressure of steam during the conditioner and the stage of cooling was automated. With the improvements applied the indicator global performance of plant increase 1% regarding the year before, and the consumption of electricity energy decrease 5,9% in the same period.

Keywords: feed manufacturing; pellet; process control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de uma fábrica de rações no sistema de pós-moagem .	15
Figura 2 - Configuração do moinho martelo	18
Figura 3 - Zonas de impacto na câmara de moagem	19
Figura 4 - Misturador tipo hélice (superior); misturador tipo pá (inferior)	20
Figura 5 - Peletizadora	21
Figura 6 - Câmara de prensagem.....	22
Figura 7 - Resfriador contra-fluxo.....	23
Figura 8 - Interior do resfriador contra-fluxo	24
Figura 9 - Forças de adesão entre partículas dentro do pelete.....	26
Figura 10 - Cálculo da taxa de compactação de matriz	30
Figura 11 - O processo DMAIC.....	33
Figura 12 - Ação do aglutinante na ração	36
Figura 13 - Mapa de processo resumido da produção de ração peletizada.....	37
Figura 14 - Mapa de processo da peletização.....	38
Figura 15 - Diagrama de blocos de um sistema com realimentação	43
Figura 16 - Temperaturas da ração na saída da peletizadora para o resfriador	44
Figura 17 - Níveis de temperatura da ração dentro do resfriador	44
Figura 18 - Esquema da automação do resfriador	47
Figura 19 - Tela do supervisorio	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Principais fatores que influenciam a peletização	27
Gráfico 2 - Parâmetros de processo que afetam a qualidade e produtividade do pelete	29
Gráfico 3 - Linha de tendência do DGM	41
Gráfico 4 - Teste de normalidade - Delta ANO1	45
Gráfico 5 - Teste de capacidade de distribuição não-normal - Delta ANO1	46
Gráfico 6 - Teste de normalidade - Delta ANO2	48
Gráfico 7 - Teste de capacidade de distribuição não-normal - Delta ANO2	49
Gráfico 8 - Diferença entre os valores orçados e realizados para o indicador Rendimento.....	50
Gráfico 9 - Diferença entre os valores orçados e realizados para o indicador Consumo de Energia Elétrica.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CV	Coefficiente de Variação
DGM	Diâmetro Geométrico Médio
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve and Control
LSE	Limite Superior de Especificação
PDI	<i>Pellet Durability Index</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
2.3	Justificativa.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	Produção de ração peletizada	15
3.2	Peletização	21
3.3	Qualidade do pelete	24
3.4	Parâmetros de peletização	27
3.4.1	Composição da ração.....	27
3.4.2	Granulometria da ração farelada	28
3.4.3	Umidade da massa.....	29
3.4.4	Taxa de compactação da matriz.....	30
3.4.5	Velocidade periférica da matriz	30
3.4.6	Tempo de resfriamento e velocidade do ar	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	Planejamento experimental	32
4.2	Materiais	35
4.2.1	Aglutinante	35
4.2.2	Vapor saturado	36
4.2.3	Moinho Martelo.....	36
4.2.4	Resfriador	36
4.3	Métodos.....	36
4.3.1	Mapa de processo	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1	Ajuste na moagem.....	40
5.2	Ajuste na mistura	41

5.3	Ajuste no condicionamento.....	41
5.4	Ajuste no resfriamento	42
5.4.1	Controle automático de processos	42
5.4.2	Sistemas realimentados	42
5.4.3	Implantação da malha de controle.....	43
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais as indústrias são desafiadas e até mesmo obrigadas a evoluírem em seus processos visando aumentar a produtividade, em outras palavras fazer mais com menos. E geralmente para isso a maioria foca em aumentar a velocidade de produção, seja investindo em equipamentos ou em treinamentos da equipe. Mas também é possível aumentar a quantidade produzida reduzindo a perda de outros fatores importantes, como por exemplo, ingredientes, insumos, energia elétrica ou embalagem.

Segundo Vastolo, Calabro e Cutrignelli (2022) o setor de nutrição animal tem buscado cada vez mais reduzir o impacto ambiental na sua produção, com melhor aproveitamento dos insumos utilizados ou com o uso de insumos alternativos como coprodutos agroindustriais.

Um importante insumo utilizado na produção de ração é a água. Segundo Froetschner (2006) a água atua agrupando as partículas da massa da ração, melhorando a qualidade do pelete. Essa função aglutinante se deve ao fato das propriedades de capilaridade e tensão superficial da água. Farenholz (2012) observou que a umidade possui grande impacto na qualidade dos peletes. Além de melhorar a qualidade dos peletes, o efeito lubrificante da água pode reduzir o atrito entre a ração e a parede dos furos da matriz, aumentando a produtividade de peletes e reduzindo o consumo de energia elétrica, pois o motor fará menor força para a mesma quantidade de peletes produzida. Por outro lado, este efeito lubrificante afeta negativamente na qualidade dos peletes, pois reduz a força de compressão da matriz.

Há um limitante para a adição de água na ração. O nível máximo da quantidade de água na massa é de 175 g/kg (FROETSCHNER, 2006), e quando há excesso de água a peletizadora perde capacidade produtiva. O excesso de água dificulta a formação da massa da ração entre os rolos e a matriz, peças responsáveis pela compressão da ração. A velocidade do rolo diminui em relação à velocidade da matriz, e com isso o rolo perde a capacidade de “empurrar” a ração através dos furos da matriz (SCHOROIJEN, 2005).

Além do fator tecnológico há também o fator microbiológico, pois de acordo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o limite máximo de umidade na ração é de 13%. Acima deste valor as condições ficam favoráveis para o crescimento de fungos e bolores.

Não há estudos sobre os malefícios da baixa quantidade de água na ração, mas por observação é possível afirmar que rações com baixo teor de umidade ou muito “secas” ficam mais quebradiças, ou seja, com menor resistência. Isso é prejudicial para a qualidade do pelete que fica mais suscetível aos impactos mecânicos durante o transporte, chegando ao consumidor final com tamanho reduzido e com maior quantidade de finos.

Neste contexto o importante na produção de ração é o equilíbrio na quantidade de água. Este importante e escasso recurso natural precisa ser adicionado na quantidade correta e preservado durante todas as etapas do processo.

O objetivo deste trabalho é reduzir a perda de umidade durante a fabricação de ração por meio de inovações de processo em diferentes etapas. Em resumo foram realizados ajustes na granulometria de moagem do material, adicionado aglutinante na mistura, reduzido a pressão de vapor no condicionamento e a etapa de resfriamento foi automatizada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Reduzir a perda de umidade durante o processo de produção de ração por meio de inovações em diferentes etapas da produção.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar as etapas onde há maior perda de umidade;
- Identificar as etapas onde há possibilidade de ganho de umidade;
- Estudar o aumento de produtividade e qualidade;
- Analisar o consumo de energia elétrica na produção.

2.3 Justificativa

O mercado de ração vem crescendo gradualmente ao longo dos últimos anos. De acordo com o relatório anual da empresa AllTech de 2021 a produção mundial de rações aumentou 2,3% em 2021, para 1,235 bilhão de toneladas.

Os principais países produtores de ração em 2021 foram China (261 milhões de toneladas); Estados Unidos (231,5 milhões de t); Brasil (80,09 milhões de t); Índia (44,05 milhões de t); México (38,85 milhões de t); Espanha (35,58 milhões de t); Rússia (33 milhões de t); Turquia (25,3 milhões de t); Japão (24,79 milhões de t) e Alemanha (24,5 milhões de t). Esses dez países, somados, representam 65% da produção mundial de ração, e os números mostram ainda que a produção de ração desses países aumentou em 4,4%, em comparação com o crescimento global de 2,3%.

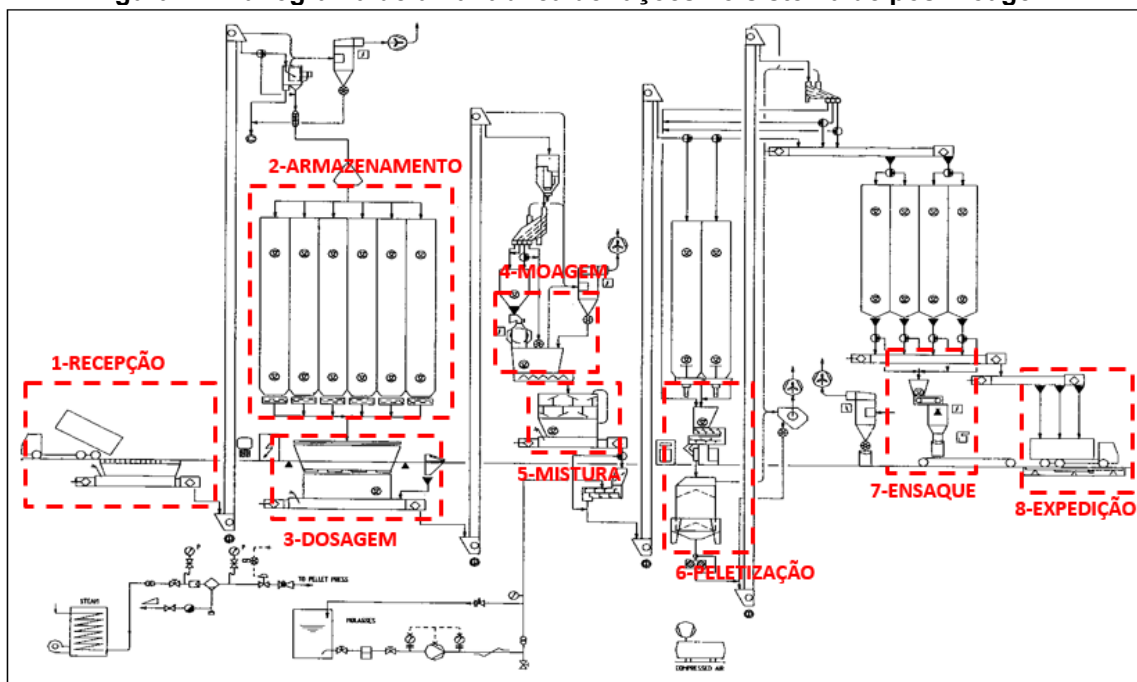
Com o crescimento deste setor é justificável que as indústrias procurem melhor rendimento em seus processos produtivos, com aumento de performance, melhor aproveitamento dos insumos e redução de custo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Produção de ração peletizada

A produção de ração consiste no preparo de alimento balanceado, juntando macro, médio e micro ingredientes, que atende as necessidades fisiológicas das espécies e cumpram os objetivos do produtor rural (BIAGI, 2009). O fluxo de produção pode ser com o conceito de PRÉ-MOAGEM (materiais moídos antes da dosagem), ou PÓS-MOAGEM (materiais moídos após a dosagem). O conceito mais utilizado pelas fábricas no Brasil é o pós-moagem, que está representado na Figura 1. Pelo fluxograma é possível observar as principais etapas do processo, que são: 1- Recepção; 2-Armazenamento; 3-Dosagem; 4-Moagem; 5-Mistura; 6-Peletização; 7-Ensaque; 8-Expedição.

Figura 1 - Fluxograma de uma fábrica de rações no sistema de pós-moagem



Fonte: Autoria própria (2023)

O processo inicia na recepção da matéria-prima, onde é realizada a amostragem do material, que pode ser transferido via caminhão ou transportadores mecânicos, como fita transportadora ou transportador de corrente. A Tabela 1 mostra as vantagens e desvantagens dos principais transportadores disponíveis no mercado. Segundo Klein (2018) esta etapa de recepção e transporte de materiais é crucial, pois uma boa análise do padrão de qualidade da matéria-prima que chega até a indústria irá impactar diretamente a qualidade do produto final.

Tabela 1 - Comparativo dos diferentes tipos de transportadores

COMPARATIVO ENTRE TRANSPORTADORES								
	Tubular	Tipo Z	Transporte pneumático (fase densa)	Fita transportadora	Redler (Transportador de corrente)	Transporte pneumático (fase diluída)	Elevado de canecas	Rosca transportadora
Aplicável para matéria-prima	4	4	4	3	5	3	5	4
Aplicável para produto acabado	5	5	2	4	1	4	1	1
Alta capacidade	4	5	4	5	5	3	5	2
Flexibilidade de fluxo	5	4	4	2	2	4	1	1
Fácil manutenção	5	4	4	2	3	4	3	3
Baixo consumo de energia	5	4	2	4	3	2	3	4
Distância de alcance	3	3	4	5	5	3	3	2
Evitar contaminação cruzada	5	5	3	2	2	3	3	2
Custo de investimento	2	2	4	4	4	3	4	5
Pontuação	38	36	31	31	30	29	28	24
Altamente positivo	5							
Positivo	4							
Médio	3							
Negativo	2							
Altamente negativo	1							

Fonte: Adaptado de Pet Food (2022)

Klein (2018) também salienta pontos importantes para se observar no armazenamento das matérias-primas: i) a capacidade dos silos deve ser projetada para dar autonomia para a fábrica de ração rodar no mínimo três dias; ii) os silos de maiores capacidades (acima de 30 toneladas) devem ficar do lado de fora da fábrica; iii) as capacidades dos transportadores devem ser compatíveis com a capacidade da fábrica; iv) silos que irão armazenar o material por mais de uma semana devem possuir sistema de aeração e termometria, preferencialmente com monitoramento remoto e automático; v) deve ser possível monitorar o ensilamento via supervisorio, com sensores indicando as rotas dos materiais; vi) o sistema de automação deve permitir apenas a transferência quando o material do silo origem e do silo destino for o mesmo, para evitar a mistura de materiais.

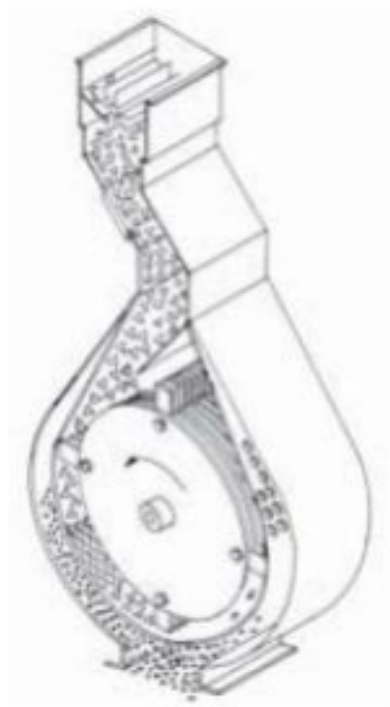
Na etapa da dosagem todos os materiais selecionados para compor a ração serão adicionados na quantidade e sequência correta a fim de atender todas as necessidades nutricionais para o qual a ração foi proposta. Os materiais geralmente são pesados em balança com sistema de células de carga, que devem ser aferidas periodicamente. Segundo Kersten, Rohde e Nef (2005) a performance da dosagem depende do tamanho da balança e do número de descargas por minuto. Quanto maior a capacidade da balança mais rápido será a pesagem do material; porém com uma balança grande há o risco de perder acuracidade na pesagem de materiais que serão adicionados em pequena quantidade. Por isso o ideal é dimensionar a balança conforme a quantidade dos materiais que serão adicionados, e se necessário ter duas ou até mais balanças. Balanças maiores para materiais de alta inclusão, e balanças menores para materiais de baixa inclusão.

Em um sistema pós-moagem, após a dosagem dos materiais eles são reduzidos a partículas menores na etapa da moagem. Cada espécie possui uma granulometria ideal para a ingestão da ração. Há também uma ideal para cada tipo de ração, se farelada, peletizada ou extrusada. Em termos gerais, as rações possuem granulometria mais grossa; as rações peletizadas possuem granulometria média; e as rações extrusadas possuem granulometria mais fina.

A moagem consiste na redução do tamanho da partícula através das forças de impacto, compressão e/ou cisalhamento. O processo de moagem é totalmente físico, e não há alteração na estrutura molecular do material, apenas um leve aumento de temperatura. Com esta elevação de temperatura acontece a redução da umidade do material após a moagem.

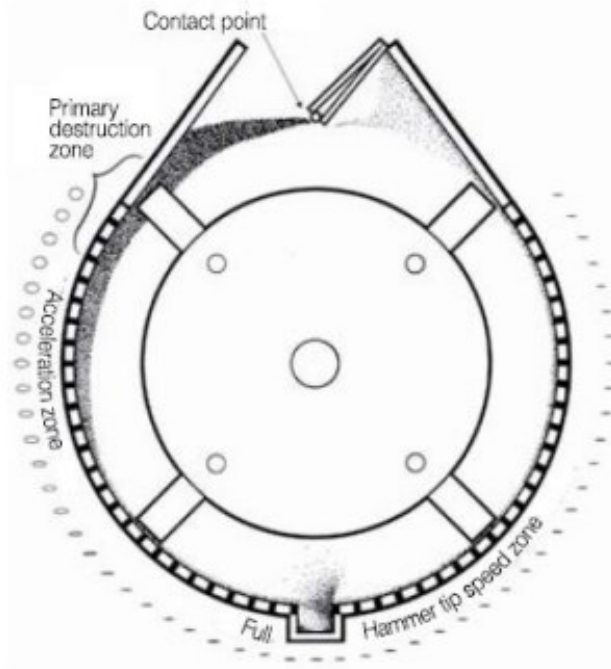
Os principais tipos de moinho utilizados na produção de ração são o moinho de rolos e o moinho martelo, sendo o moinho martelo o mais comum. A Figura 2 mostra a configuração de alimentação do moinho martelo e a Figura 3 mostra as zonas de impacto entre martelos e partículas.

Figura 2 - Configuração do moinho martelo



Fonte: Heimann (2014)

Figura 3 - Zonas de impacto na câmara de moagem



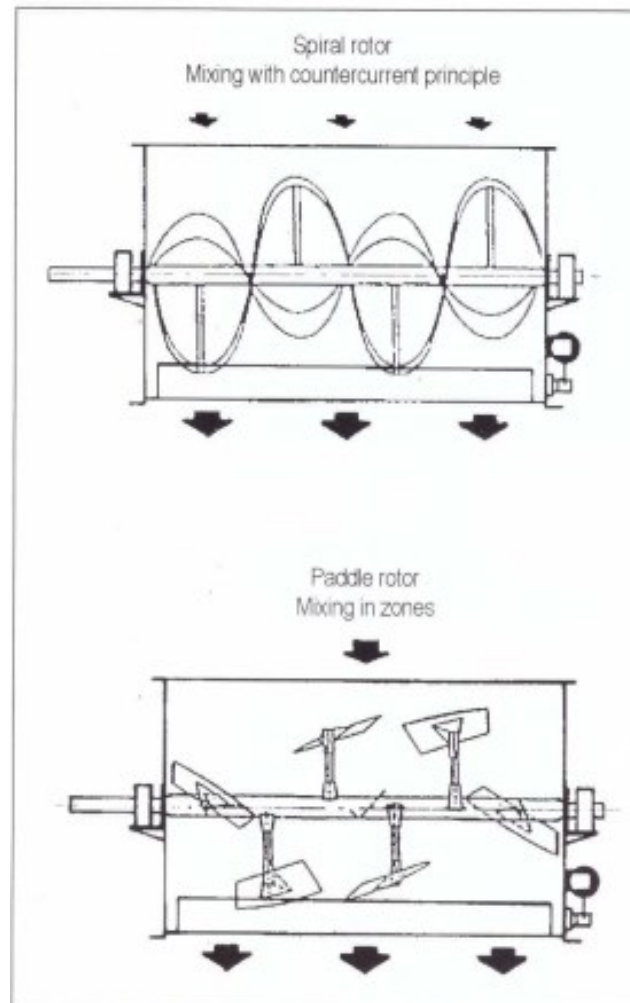
Fonte: Heimann (2014)

A moagem é a primeira etapa que tem o objetivo de melhorar a eficiência da ração pelo aumento da área superficial dos materiais que estão sendo processados. Este aumento da área superficial expõe melhor os nutrientes ao sistema digestivo do animal, melhorando a taxa de conversão do alimento. Também em termos de processo a moagem é extremamente importante, pois a granulometria da partícula irá interferir nos processos seguintes, como a mistura e peletização. Em outras palavras, o tamanho da partícula é crucial para um pelete de qualidade (HEIMANN, 2014).

A etapa da mistura garante que todos os materiais dosados estejam nas devidas proporções em todo o lote produzido, de maneira homogênea. Os misturadores podem ser no sistema contínuo ou em batelada; grande parte das fábricas presentes no Brasil utilizam misturadores em batelada com tempo de ciclo médio entre 3 e 5 minutos.

Quanto ao princípio de funcionamento, os misturadores podem ser horizontais ou verticais; com pás, hélice, “martelos” ou tambor rotativo. A Figura 4 mostra os dois tipos de misturadores mais comuns, o misturador de hélice e o misturador de pás.

Figura 4 - Misturador tipo hélice (superior); misturador tipo pá (inferior)



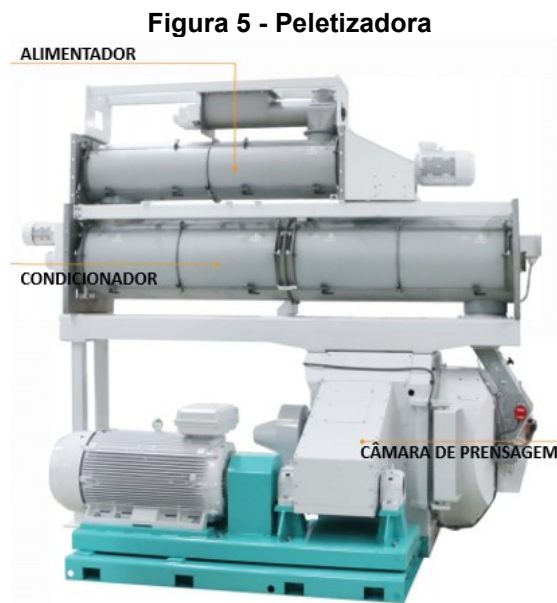
Fonte: Kersten, Rohde e Nef (2005)

A qualidade da mistura é definida pelo CV (Coeficiente de Variação), que é o desvio-padrão dividido pela média multiplicado por 100; estes valores referente a quantidade de um determinado componente quantificado em no mínimo 10 amostras da mesma mistura. Uma mistura de qualidade deve possuir CV máximo de 10%. Caso a qualidade da mistura esteja fora do ideal deve-se alterar alguns parâmetros do processo como: distância entre as pás ou hélice e o corpo do misturador; velocidade de rotação; tempo de mistura; sentido da injeção de líquido (se houver aplicação de líquido no misturador); sequência dos materiais inseridos no misturador; entre outros (BORTONE, 2014).

3.2 Peletização

Basicamente a peletização é a transformação de uma massa farelada em agregados cilíndricos por meio de calor úmido (vapor) e força mecânica (compressão). Inúmeros fatores podem contribuir para que o processo de peletização ocorra de forma eficiente. Desde a composição das dietas, as apresentações físicas dos ingredientes, bem como as regulagens e especificações dos equipamentos são algumas das variáveis que podem afetar a qualidade do pelete e as características nutricionais das rações (MURAMATSU, 2013).

Uma peletizadora (Figura 5), de maneira resumida, é composta por: rosca alimentadora, condicionador, retentor e câmara de prensagem. A rosca alimentadora determina a velocidade com que o produto passará pelo conjunto da peletizadora. Possui relação direta com a produtividade da máquina. Ao mesmo tempo também funciona como uma barreira impedindo que o vapor do condicionador chegue até o silo da prensa, evitando entupimentos no sistema. O tratamento térmico acontece primeiramente no condicionador, onde é injetado diretamente vapor saturado na massa. Este vapor agrega umidade e vapor para que a ração chegue a um estado físico favorável para a compactação, além de garantir a redução da carga microbiana (FROETSCHNER, 2006; LARA, 2013).



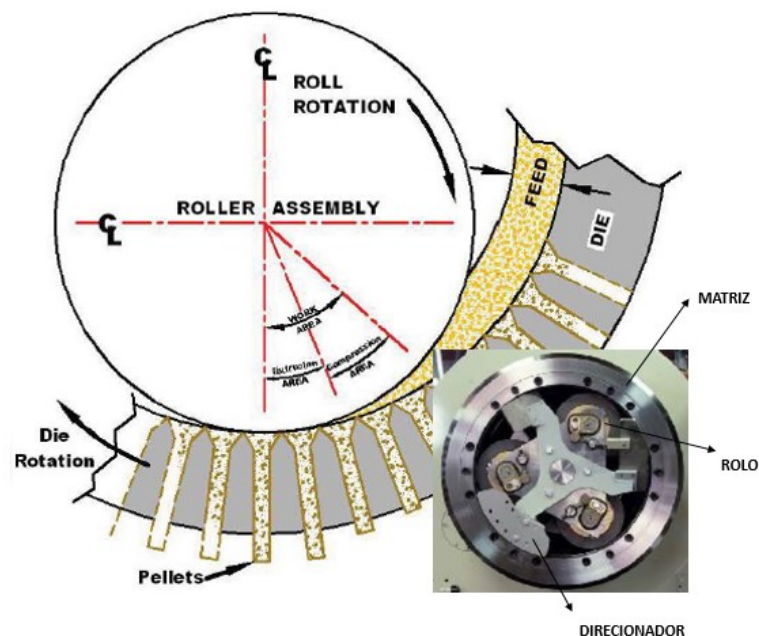
Fonte: Buhler (2023)

O condicionamento é uma etapa crucial no processo de peletização, pois é onde inicia a transformação a nível molecular dos componentes da ração. Por

exemplo é no condicionador que ocorre a gelatinização do amido presente na ração, e isso vai afetar tanto as características físicas como nutricionais do produto final. No condicionamento é adicionado calor e umidade através do vapor saturado. Este vapor, além de aumentar a quantidade de água presente na ração também é importante como agente bactericida. Behnke (2014) salienta que a etapa de condicionamento é sem dúvida o componente mais importante do processo de peletização e que as fábricas e seus trabalhadores precisam dar mais atenção para esta etapa.

A câmara de prensagem (Figura 6) é composta por duas peças principais: matriz da prensa e o rolo. Também há os direcionadores e as facas. No interior da câmara os direcionadores (ou defletores) direcionam o fluxo de ração para os rolos, que forçam a ração farelada pelos orifícios da matriz, dando início a formação do pelete. Para que haja a produção de ração na forma de peletes a força motriz do rolo precisa ser maior que a resistência oferecida pela matriz da prensa contra a passagem de ração. Após a formação do pelete, os ajustes das facas determinam o tamanho do pelete (MURAMATSU, 2013).

Figura 6 - Câmara de prensagem



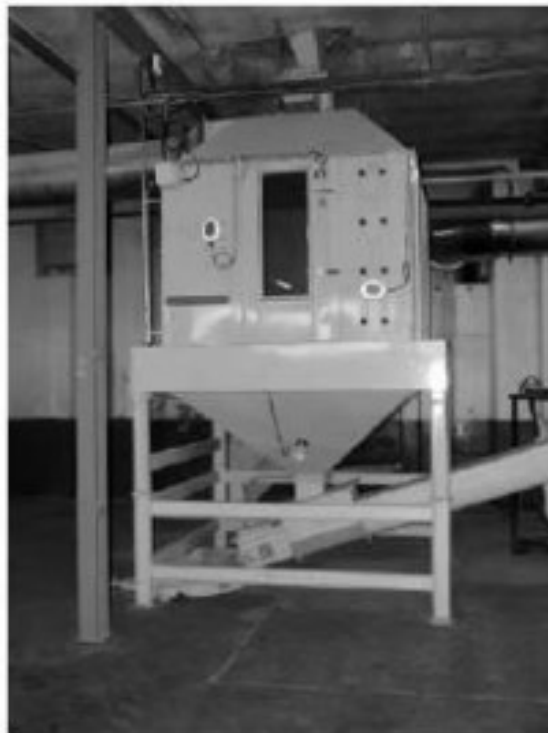
Fonte: Sofioni (2015)

O pelete deixa a câmara de prensagem com temperaturas superiores a 85°C, e precisa ser resfriado até próximo a temperatura ambiente (no máximo 10°C acima da temperatura ambiente). Para isso acontecer, após a peletização acontece a etapa de resfriamento do pelete.

Além da temperatura há outro fator importante que justifica a etapa de resfriamento, que é a umidade. Com a umidade adicionada nas etapas de mistura e condicionamento a quantidade de água na ração pode chegar até 17%, porém o limite máximo de água na ração aceitável no mercado é de 13%. E é no resfriamento onde a quantidade de água chega ao nível aceitável, pois é preciso retirar o excesso de água para aumentar o *shelf life* do produto e aumentar a dureza do pelete (BORTONE, 2014).

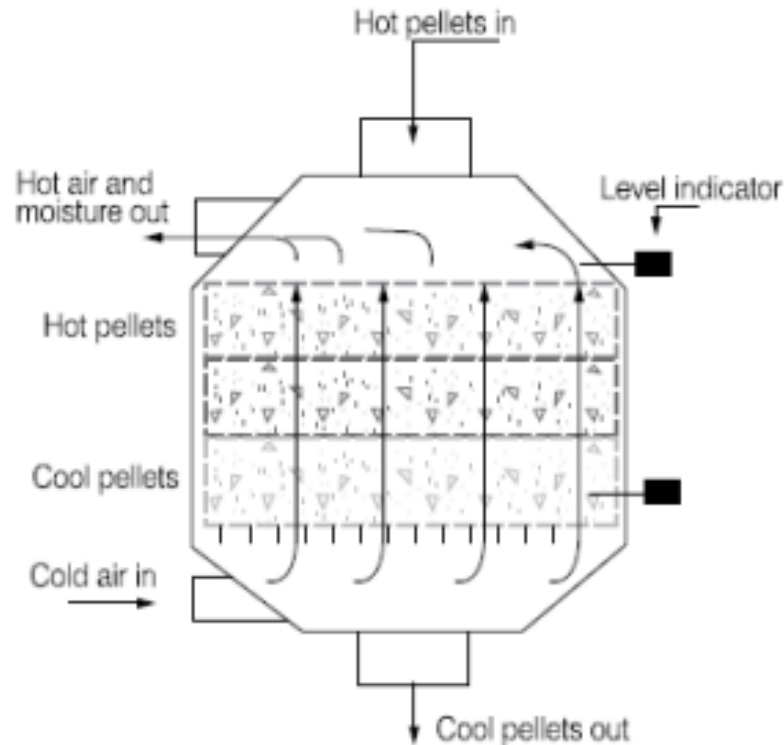
O tipo de resfriador mais eficiente e o mais comum nas fábricas de rações do Brasil é o de contra-fluxo, onde uma corrente é forçada contra o fluxo de ração. Este ar a temperatura ambiente resfria e retira umidade da ração. As Figuras 7 e 8 abaixo mostram um resfriador contra fluxo e os principais componentes deste equipamento.

Figura 7 - Resfriador contra-fluxo



Fonte: Bortone (2014)

Figura 8 - Interior do resfriador contra-fluxo



Fonte: Bortone (2014)

Após o resfriamento, a ração é direcionada para o envase ou silo para expedição a granel, conforme programação de produção da fábrica.

3.3 Qualidade do pelete

O processo de degradação dos peletes normalmente está associado a três mecanismos: a) atrito ou abrasão: na qual partículas pequenas são removidas da superfície do pelete; b) fragmentação: na qual impactos intensos levam a quebra do produto em diversas partículas menores; c) lasqueamento: onde partículas grandes são removidas da superfície do produto (ZUNIGA; PEREZ, 2012). Peletes de boa qualidade são definidos como aqueles que resistem às forças de desintegração, como compressões, atritos e impactos oriundas dos sistemas de transporte e armazenamento dentro da fábrica e no decorrer do trajeto da fábrica até o destino final (CAVALCANTI; BEHNKE, 2005).

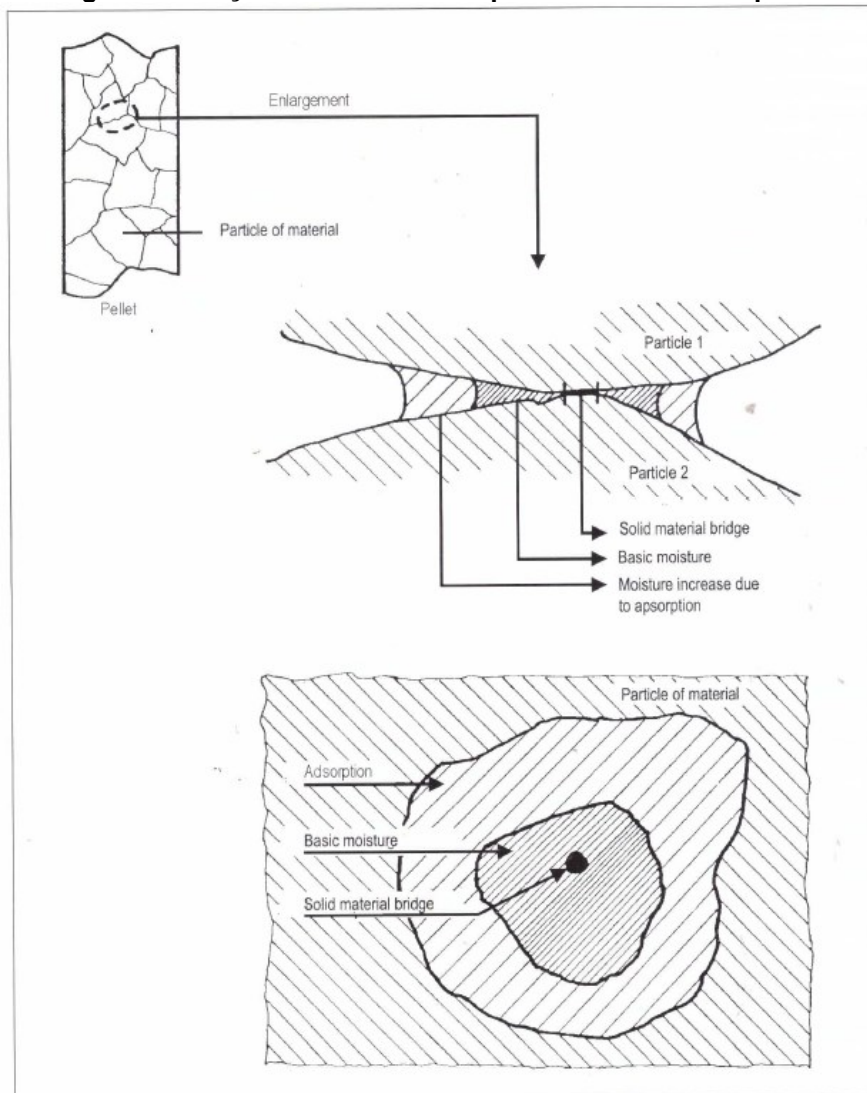
Na formação do pelete, a qualidade é afetada pela composição da ração, pelo processamento intensivo, o ajuste da peletizadora e a velocidade periférica da matriz, além do processo de resfriamento do pelete (KERSTEN; ROHDE; NEF, 2005).

Ainda segundo Kersten, Rohde e Nef (2005), as principais forças intra e intermoleculares que atuam em cada partícula que compõem o pelete, para se manterem unidas são:

- Força de Van de Waals;
- Forças geradas pelas pontes entre sólidos;
- Forças geradas pelas pontes entre líquidos;
- Forças de ação capilar;
- Forças pela adição de agentes aglutinantes;
- Forças eletroestáticas.

A Figura 9 indica a estrutura do pelete e as principais forças de adesão que atuam no pelete.

Figura 9 - Forças de adesão entre partículas dentro do pelete



Fonte: Kersten, Rohde e Nef (2005)

A qualidade do pelete geralmente é baseada em seu indicador de durabilidade - PDI (*Pellet Durability Index*)¹ e dureza (ASABE, 1997). O PDI é um teste simples no qual o alimento peletizado é submetido a impactos sucessivos em uma caixa com barreiras metálicas por um período de tempo e rotações definidas, que estimula alguma possível agressão que o pelete sofreria da fábrica até a chegada nos comedouros dos animais. Já a dureza é mensurada por meio da força necessária, medida em kgf, para destruir o pelete lateralmente (FAIRFIELD, 2003). Segundo Farenholz (2012) o PDI é melhor para expressar a qualidade física dos peletes em detrimento da dureza, pois utiliza-se uma maior amostra e melhor todas as etapas do processo de pós-peletização.

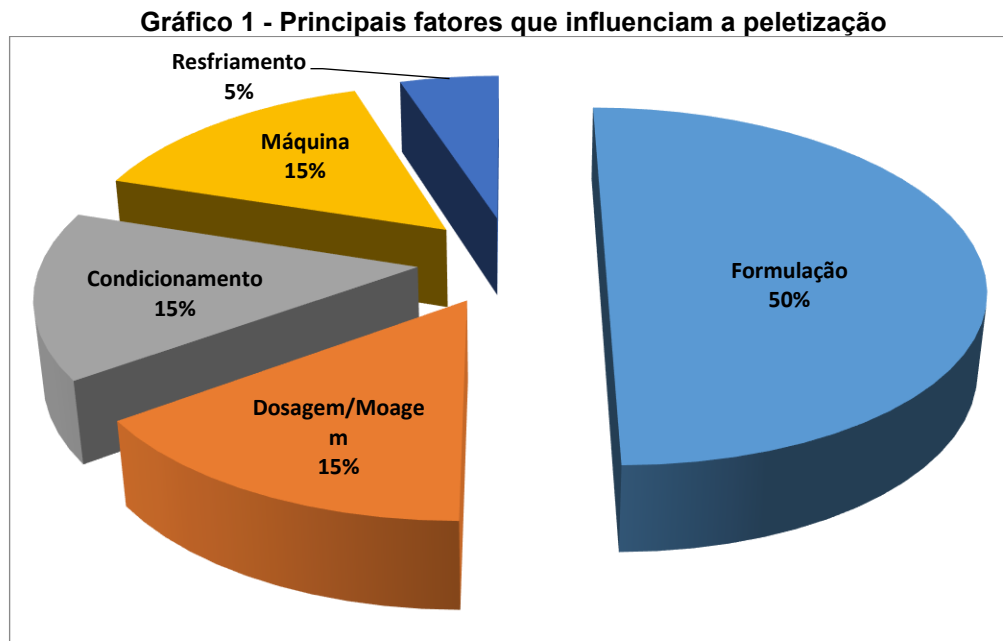
¹ Índice de dureza do pelete.

A eficiência do processo de peletização em termos de qualidade de peletes pode ser expressa pelo percentual de peletes produzidos, o qual é inversamente proporcional a quantidade de finos no produto. A mensuração do percentual de peletes íntegros pode ser feita mediante o peneiramento da ração e consiste na separação da parte fina da parte grossa (ADVANTECH, 2001).

3.4 Parâmetros de peletização

3.4.1 Composição da ração

Em termos gerais a composição da ração é o fator mais importante que irá determinar a qualidade da ração e a produtividade da peletização. Pois é em função da composição que todos os outros fatores serão determinados. Os principais fatores que influenciam a peletização estão apresentados no Gráfico 1:



Fonte: Klein (2018)

Cada espécie de animal requer uma nutrição específica. Para isso os profissionais da cadeia da nutrição animal definem com base em nutrientes e custo quais os melhores ingredientes para suprir as necessidades fisiológicas de cada espécie e atender as expectativas do proprietário.

Segundo Klein (2018) os principais ingredientes e seus efeitos na peletização são:

GORDURA - O aumento da quantidade de gordura favorece a produção, pois com o aumento da temperatura ela é exposta no pelete e lubrifica o furo da matriz. E devido a este efeito lubrificante a produtividade aumenta e o desgaste da matriz é menor. Já a qualidade do pelete (PDI) é prejudicada com a adição de gordura, pois o principal componente responsável pela ligação entre as partículas do pelete é a água. E como gordura e água são imiscíveis, a gordura enfraquece as forças de ligação entre as partículas.

FIBRA - São benéficas para a qualidade do pelete, pois sobre alta temperatura e pressão absorvem umidade e fortalecem as ligações físico-químicas. Porém por serem abrasivas prejudicam a passagem dos peletes pelos furos da matriz, diminuindo a produção e aumentando o desgaste do equipamento.

PROTEÍNA BRUTA - Até 20% favorecem a produtividade; acima desta quantidade dificultam a passagem do pelete pelo furo da matriz. Também favorecem a qualidade (PDI) devido a sua plasticidade.

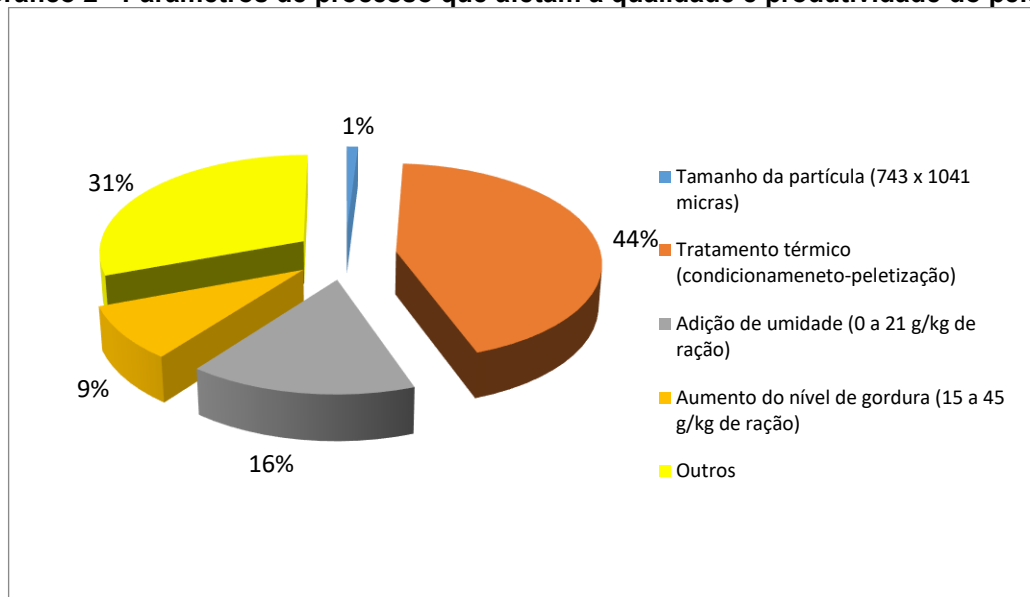
AMIDO (Milho) - O impacto tanto na qualidade quanto na produtividade dependerá de fatores de moagem e condicionamento, como granulometria e temperatura. Pois estes fatores determinam o nível de gelatinização do amido, que ocorre acima de 80°C. A gelatinização adequada favorece qualidade e produtividade.

AMIDO (Cereais de inverno) - A inclusão deste tipo de amido favorece a qualidade do pelete, principalmente pela presença do glúten; mas dificulta a produtividade.

TEOR DE CINZAS - O alto teor de cinzas é diminui a qualidade do pelete e prejudica a produtividade do equipamento. Suas características são alta abrasividade e baixa absorção de umidade.

3.4.2 Granulometria da ração farelada

O Gráfico 2 apresenta os principais fatores de processo (excluindo a formulação) que interferem na qualidade e produtividade da ração peletizada.

Gráfico 2 - Parâmetros de processo que afetam a qualidade e produtividade do pelete

Fonte: Adaptado de Muramatsu *et al.* (2015)

A redução da granulometria antes da peletização aumenta o contato superficial entre as partículas, pois neste há mais área exposta por volume de material. Isso aumenta as forças intermoleculares (forças de Van der Waals, eletrostáticas ou dipolo-dipolo, e pontes de hidrogênio), e facilita a penetração de calor e umidade até o interior da molécula com menor tempo de tratamento térmico (MURAMATSU, 2013). Isso favorece a qualidade da ração (PDI) e também sua produtividade, pois a partícula menor favorece a passagem da massa pelos furos da matriz e evita a remoagem (redução da partícula na peletização ao invés da moagem).

3.4.3 Umidade da massa

A água adicionada no processo na etapa da mistura e condicionamento favorece a união entre as partículas durante a peletização. Devido a sua composição química a água “cede” moléculas de hidrogênio para as ligações, possibilitando que aconteça uma das ligações intermoleculares de maior força - ligação de pontes de hidrogênio (FROETSCHNER, 2006). Essa característica da água, de atuar como aglutinante favorece a qualidade da ração.

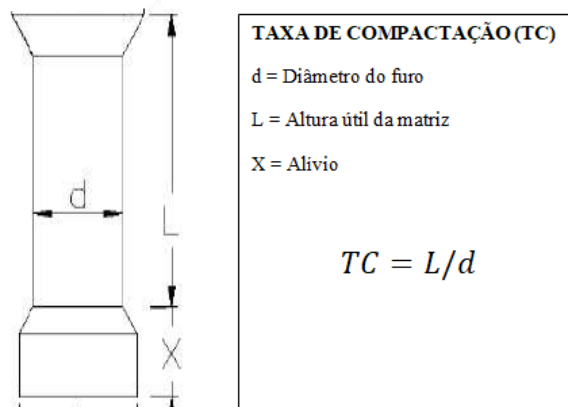
Foi evidenciado que água também atua como lubrificante da massa, diminuindo o atrito entre a ração e os furos da matriz (FARENHOLZ, 2012); e é um fator determinante que regula a passagem de ração pelo furo da matriz (KLEIN, 2018). Portanto, até certo nível, a presença de umidade na ração pode contribuir com a produtividade e o menor desgaste do equipamento. Mas é necessário cuidado no

controle do processo para não exceder a quantidade de água ideal e prejudicar a qualidade do pelete.

3.4.4 Taxa de compactação da matriz

Segundo Klein (2018) a taxa de compactação da matriz está relacionada ao tempo de permanência da ração sobre a ação da força de compressão. Quanto maior a taxa de compactação (relação altura útil da matriz/diâmetro do furo) maior será o tempo de compressão, e conseqüentemente maior será o PDI da ração. A Figura 10 indica o cálculo da taxa de compactação da matriz.

Figura 10 - Cálculo da taxa de compactação de matriz



Fonte: Autoria própria (2023)

Considerando que produtividade é a quantidade produzida por tempo de produção. E uma alta taxa de compactação significa um maior tempo de permanência do produto na matriz. Podemos concluir que uma maior taxa de compactação da matriz diminui a eficiência de produção.

3.4.5 Velocidade periférica da matriz

Em relação a velocidade periférica da matriz há regras gerais sobre seu efeito na produtividade e qualidade. Quanto maior a velocidade da matriz menor será o tempo de permanência da ração no furo da matriz. E quanto menor o tempo de permanência maior será a produtividade e menor será a qualidade da ração (PDI) (KLEIN, 2018).

3.4.6 Tempo de resfriamento e velocidade do ar

De acordo com Kersten, Rohde e Nef (2005) quanto maior o tempo de permanência da ração dentro do resfriador maior será a redução da sua temperatura. Em relação à velocidade do ar, se for muito alta será prejudicial para o pelete, pois a redução de umidade será muito alta, o interior do pelete ainda irá ficar quente e a superfície da ração ficará quebradiça. Já se a velocidade do ar for muito baixa a umidade do pelete ficará acima dos limites permitidos, aumentando a chance de proliferação de microrganismos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Planejamento experimental

O enquadramento metodológico tem como objetivo descrever as escolhas do pesquisador quanto à realização da pesquisa. De acordo com Oliveira (2011) a demonstração dos motivos pelos quais o pesquisador escolheu determinados caminhos e não outros chamamos de método. A respeito da classificação do tipo de pesquisa, este estudo será classificado segundo Gil (2010) nos seguintes aspectos: quanto a natureza dos resultados, quanto aos objetivos, quanto aos meios e quanto à abordagem do problema.

Quanto ao método de abordagem classifica-se como quantitativa-qualitativa. Quantitativa, pois envolve coleta e análise de dados por meio de métodos estatísticos, para garantir precisão dos resultados, além da realização de testes de umidade, qualidade e análise do consumo de energia dos equipamentos. Qualitativa, pois buscará interpretar os procedimentos e analisar as atividades que envolvem a produção, além de avaliar as características sensoriais da ração.

Quanto à natureza do seu objetivo, a pesquisa caracteriza-se como exploratória e descritiva. Exploratória, pois se dará por meio de testes de diferentes concentrações de aglutinantes e por intervenções nos processos produtivos. Descritiva, pois será necessário descrever o processo de fabricação de ração.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa classifica-se como bibliográfica, pois será realizado uma revisão sistemática da literatura com base em artigos publicados em periódicos, para identificação de lacunas no contexto estudado e construção do referencial teórico da pesquisa. Também caracteriza-se com um estudo de caso, pois pretende-se investigar os efeitos das mudanças propostas no processo produtivo bem como nos resultados do produto final.

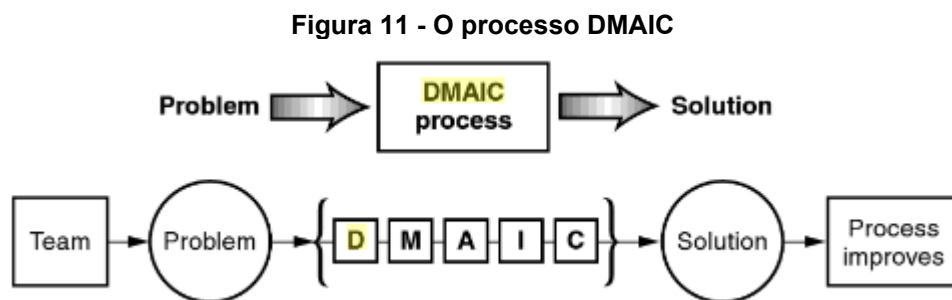
Em relação a coleta de dados, esta será realizada por meio de dados primários coletados no processo produtivo durante a pesquisa.

Para o presente trabalho foi utilizado a metodologia DMAIC para atingir os resultados propostos.

A metodologia DMAIC é uma estratégia Six Sigma para aumentar a qualidade de produtos e serviços. A estrutura DMAIC é composta das seguintes etapas: Define, Measure, Analyze, Improve e Control; e este tipo de estratégia e gestão de processos tem sido utilizado em larga escala nas maiores companhias do mundo, com o principal

objetivo de melhorar a performance industrial. O objetivo principal da abordagem Six Sigma nos processos industriais é reduzir a variabilidade, tornando os resultados muito mais estáveis. A variabilidade pode ser causada por vários fatores, dentre eles: pessoas, máquinas, falta de padrões, circunstâncias do ambiente produtivo e os materiais utilizados (TRIMARJOKO; PURBA; NINDIANI, 2020).

Considerando a metodologia DMAIC como um processo em si, é possível caracterizar o problema com uma entrada do processo e a solução com uma saída, como mostra a Figura 11.



Fonte: Shankar (2009)

Rana e Kaushik (2018) destacam que as ferramentas Six Sigma são frequentemente aplicadas utilizando o modelo DMAIC. O princípio básico da abordagem DMAIC segue as seguintes fases:

A fase Define (**Definir**) é onde os problemas são identificados e categorizados, e onde também os alvos e objetivos são definidos. Esta é uma fase importante e considerada crítica, pois se o problema for identificado de maneira equivocada poderá comprometer todo o resultado do trabalho.

Na fase Measure (**Medir**) é a fase que os parâmetros relevantes do processo são analisados. Estes parâmetros devem possuir correlação com os problemas definidos na primeira fase, e também devem influenciar o resultado desejado. É preciso ter uma coleta de dados precisa e o mais fácil possível, para ter assertividade nas ações que serão tomadas nas fases seguintes.

Analyze (**Analisar**) é a fase da identificação da condição atual e identificação da oportunidade de melhoria. Pela análise das causas do problema é possível focar nas ações para melhorar o processo.

A fase Improve (**Melhorar**) é a escolha das melhoras alternativas mensuradas que ocorreram na fase Analyze e quais ações serão tomadas.

Control (**Controlar**) é a fase de monitoramento e padronização da solução a fim de assegurar que a causa do problema está controlada.

No Quadro 1 abaixo um resumo dos passos de cada fase e das ferramentas que podem ser utilizadas em cada uma.

Quadro 1 - Resumo das fases do DMAIC

Fase	Passos	Ferramentas
D - Define (Definir os objetivos do projeto e as entregas aos clientes internos e/ou externos).	<ul style="list-style-type: none"> Definir clientes e requisitos Desenvolver o estado do problema, objetivos e benefícios Identificar Dono do Processo e Equipe Definir recursos Avaliar suporte chave organizacional Desenvolver plano de projeto e marcos do projeto Desenvolver mapa de processo 	<ul style="list-style-type: none"> Plano de projeto Fluxograma de processo Diagrama SIPOC Análise de <i>stakeholders</i> Definição CTQ (<i>Critical To Quality</i>)
M - Measure (Medir o processo para determinar a performance atual e quantificar o problema).	<ul style="list-style-type: none"> Definir defeitos, oportunidades, unidades e métricas Detalhar mapa de processo das áreas envolvidas Desenvolver plano de coleta de dados Validar o sistema de medição Coletar os dados Início do desenvolvimento da correlação $Y=f(x)$ Determinar capacidade de processo e <i>Sigma Baseline</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Fluxograma de processo Plano de coleta de dados <i>Benchmarking</i> Análise do sistema de medidas Cálculo do processo Sigma Mapa de processo
A - Analyze (Analisar e determinar as causas raízes dos defeitos).	<ul style="list-style-type: none"> Definir a performance dos objetivos Identificar os parâmetros críticos, não-críticos e ruídos do processo Identificar as fontes de variação Determinar as causas raízes Priorizar os principais pontos da correlação $Y=f(x)$ 	<ul style="list-style-type: none"> Histograma Carta de Pareto CEP (Controle Estatístico de Processo) Diagrama de Dispersão Análise de Regressão Análise de Causa e Efeito / Diagrama de Ishikawa 5 Porquês Revisão de análise do Mapa de Processo Análise Estatística Teste de Hipótese (Contínuo e Discreta) Análise da Normalidade dos dados
I - Improve (Melhorar os processos pela eliminação dos defeitos).	<ul style="list-style-type: none"> Determinar a estrutura de experimentos Desenvolver potenciais soluções Definir tolerâncias nas operações Avaliar modos de falhas das potenciais soluções Validar potenciais melhorias pelo estudo piloto 	<ul style="list-style-type: none"> Brainstorming Prova de Erros Design of Experiment Matriz de Decisão FMEA (<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>) Modelagem

	<ul style="list-style-type: none"> • Correção ou reavaliação da potencial solução 	
<p>C - Control (Controlar a performance futura do processo).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Definir e validar monitoramento e sistema de controle • Desenvolver procedimentos padrão • Implementar controle estatístico para novos processos • Determinar capacidade do processo • Desenvolver plano de transferência de responsabilidade de processos • Calcular benefícios, redução de custo e retorno do projeto • Fechamento do projeto e documento de finalização • Comunicação aos envolvidos e interessados • Celebrar 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo do Processo Sigma • Carta de Controle • Cálculo de Redução de Custos • Plano de Controle

Fonte: Krishnan e Prasath (2013)

4.2 Materiais

Para a produção de ração há vários materiais utilizados. Matérias-primas, coadjuvantes de produção e insumos; além de equipamentos e peças.

Os materiais em questão nesta pesquisa são: aglutinante, vapor saturado, moinho martelo e resfriador.

4.2.1 Aglutinante

O aglutinante é um aditivo conservante para uso em alimentos para animais e seus ingredientes. Este aditivo permite o controle da umidade final do produto mantendo a ração protegida contra a proliferação de fungos.

O aumento da umidade final da ração é devido ao efeito surfactante deste aditivo, que diminui a tensão superficial da água e facilita sua penetração no alimento, como mostra a Figura 12:

Figura 12 - Ação do aglutinante na ração



Fonte: Kemin (2023)

4.2.2 Vapor saturado

O vapor saturado ou vapor seco é produzido quando a água é aquecida até o ponto de ebulição (aquecimento sensível) e então vaporizada com calor adicional (aquecimento latente). Este tipo de vapor é utilizado à baixa temperatura e pressão, e é adicionado diretamente na ração na etapa de condicionamento.

4.2.3 Moinho Martelo

O moinho martelo é o tipo de moinho mais utilizado nas indústrias de ração para a redução das partículas. Suas vantagens são a velocidade de moagem, a facilidade de operação e a possibilidade de moer partículas de diferentes tamanhos simultaneamente.

4.2.4 Resfriador

Após a peletização a temperatura da ração é reduzida de aproximadamente 90°C até 10°C acima da temperatura ambiente. O equipamento responsável por isto é o resfriador.

O resfriador da fábrica em questão utiliza o sistema contra-fluxo para resfriar os peletes.

4.3 Métodos

Neste item serão apresentados os métodos para identificação das principais etapas que interferem na umidade da ração, e as análises do processo.

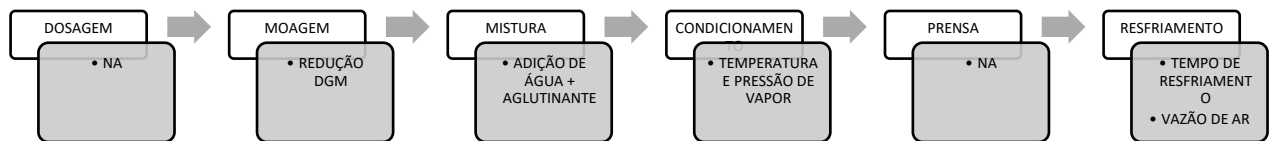
4.3.1 Mapa de processo

O mapa de processo é a representação gráfica das diversas tarefas necessárias em sequência para a transformação de uma ou várias entradas em uma

saída útil para o cliente. No mapeamento estas atividades se interligam uma com as outras dentro de um processo (NARDINO, 2019).

A Figura 13 mostra o mapa de processo da produção de ração peletizada resumidamente (excluindo as etapas de recepção e expedição), com os principais pontos considerados para reduzir a perda de umidade do produto final.

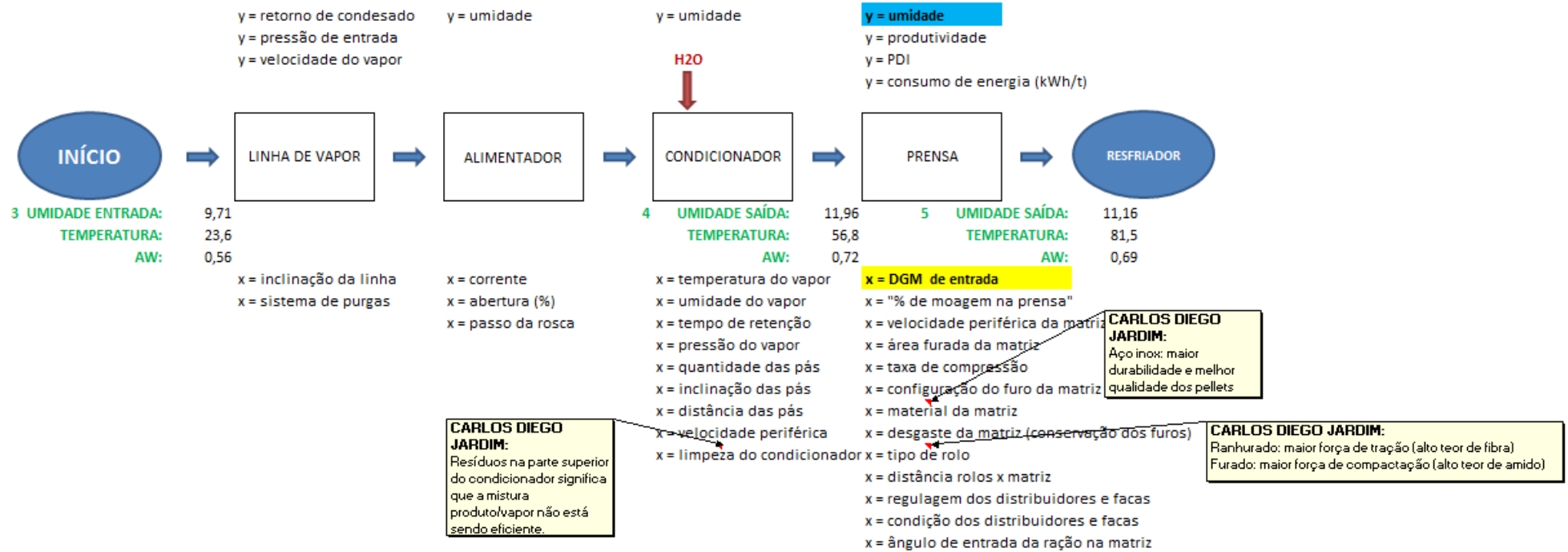
Figura 13 - Mapa de processo resumido da produção de ração peletizada



Fonte: Autoria própria (2023)

Após o mapa do macroprocesso, foi realizado o mapeamento dos subprocessos com todas as entradas e saídas bem como as variáveis que impactam diretamente na umidade do produto. Na Figura 14 está o mapeamento da etapa de peletização:

Figura 14 - Mapa de processo da peletização
PELETIZAÇÃO



Fonte: Autoria própria (2023)

Pelos mapas de todas as etapas do processo foi possível definir as principais etapas que possuem grande impacto na umidade do produto final, são elas: moagem, mistura, condicionamento e resfriamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após identificado pelo mapa de processo as principais variáveis de processo que impactam a variável resposta (umidade do produto acabado), foram realizados os ajustes necessário em cada parâmetro.

5.1 Ajuste na moagem

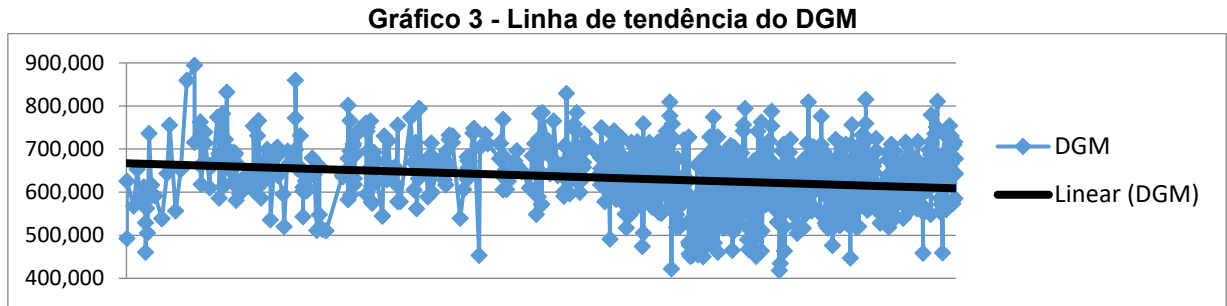
Na etapa da moagem a variável identificada como crítica para a umidade da ração foi a granulometria da ração, antes da peletização. O principal parâmetro de moagem de ração é o DGM (Diâmetro Geométrico Médio), que é a proporção média do tamanho de todas as partículas da amostra devidamente peneiradas em telas de diferentes tamanhos.

O tamanho das partículas é de extrema importância na produção de uma ração de qualidade, pois pode otimizar a nutrição do animal e também proporcionar eficiência na mistura (etapa seguinte da moagem).

Além da nutrição e eficiência de mistura uma boa moagem pode influenciar na absorção de umidade pela partícula, pois quanto menor for o tamanho da partícula, maior será sua superfície de contato com a umidade que adicionada no misturador e no condicionador. Isso conseqüentemente aumenta a quantidade de água absorvida.

Para reduzir o DGM da ração produzida forma feitas duas mudanças: a alteração da abertura da tela do peneirador plano que separa a MP antes da moagem. A tela antes utilizada possuía abertura de 4,0 mm, que foi substituída por tela de 2,8 mm. O objetivo desta alteração foi aumentar a quantidade de material passando pelo moinho martelo. E a principal mudança foi a redução da tela do moinho martelo de 3,0 mm para 2,5 mm.

A seguir, o Gráfico 3 mostra a redução linear do DGM (Diâmetro Geométrico Médio) em micras:



A redução foi de uma tendência de 625 micras, com picos de 894 micras, para um valor médio de 573 micras. Isso representa uma diminuição de 8,32% no tamanho da partícula.

De acordo com um trabalho realizado por Muramatsu (2013) o tamanho da partícula tem impacto na qualidade dos peletes formados, sendo que uma partícula média de moagem proporciona ligeira melhora na qualidade em relação a uma moagem com partículas grossas.

5.2 Ajuste na mistura

No misturador foi adicionada uma solução de água e aglutinante. A quantidade adicionada foi de 50 litros de solução, o que corresponde a uma proporção de 1,667% de solução em relação à quantidade de ração.

O objetivo desta ação foi aumentar a umidade da massa e retenção desta umidade, pelo efeito do aglutinante. O aglutinante teve um importante papel na retenção da umidade e garantia de baixa atividade de água. E também auxiliou na umidificação pré condicionador.

5.3 Ajuste no condicionamento

No condicionador a variável ajustada foi a pressão do vapor saturado adicionado à massa de ração. A caldeira da fábrica gerava um vapor com pressão nominal de 10 bar, e esta pressão foi reduzida para 8 bar.

Quanto menor a pressão de vapor mais úmido é o vapor e, conseqüentemente, mais úmida será a ração. Isso contribui para um melhor cozimento da massa, devido à alta capacidade calorífica da água.

Segundo Muramatsu (2013), a quantidade de peletes intactos aumentou expressivamente com o aumento dos níveis de adição de umidade no condicionador.

5.4 Ajuste no resfriamento

O resfriamento é a etapa do processo de produção de ração peletizada onde há a maior perda de umidade. Na fábrica em questão o ajuste do tempo de retenção da ração no resfriador era realizado manualmente pelo operador. No caso, era de responsabilidade do operador definir a posição do sensor de nível máximo. Este sensor limitava a altura da camada de ração dentro o resfriador, e quanto mais alta esta camada maior era o tempo de retenção e conseqüentemente maior o tempo de resfriamento. Em alguns momentos a ração deixava o resfriador com a mesma temperatura do ambiente, significando uma grande perda de umidade.

Para solucionar o problema de falta de controle no resfriamento da ração e perda excessiva de umidade nesta etapa foi implementado o controle automático do processo utilizando o conceito de sistemas realimentados.

5.4.1 Controle automático de processos

O controle automático visa garantir confiabilidade e repetibilidade ao processo. Com isso ele mantém as condições adequadas que possibilitam o bom funcionamento do processo, e conseqüentemente a obtenção de produtos dentro das especificações qualitativas e quantitativas desejadas.

Controlar um processo é fazer com que suas variáveis interajam de modo ordenado, mantendo-as o mais próximo possível de valores considerados ideais, de maneira duradoura. Todo sistema de controle tem uma variável controlada (que é medida via sensor-transmissor), uma variável manipulada (sobre a qual se atua por meio do elemento final de controle), além do controlador (GARCIA, 2018).

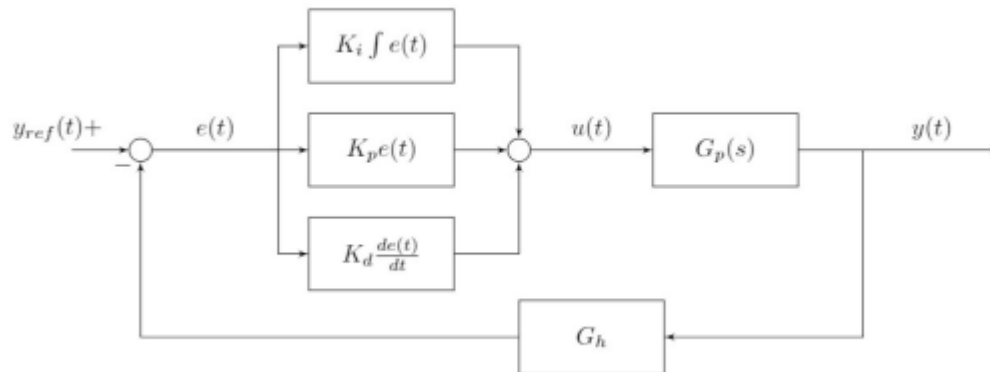
5.4.2 Sistemas realimentados

Sistemas de controle em malha fechada contém elementos de correção que proporcionam a combinação dos valores reais com os valores desejados. Se a saída observada não estiver conforme desejada, a entrada de controle é alterada por meio de realimentação (GUIMARÃES; MAIA, 2019).

Para a aplicação do sistema realimentado em questão foi utilizado um controlador PID. O controlador PID é desenvolvido com três termos, respectivamente: proporcional, integral e derivativo. Cada um representa uma ação que será tomada com o erro, que é medido quando comparada a saída do sistema com a referência

desejada (SEGALLA, 2021). A Figura 15 mostra uma representação de um sistema realimentado com um controlador PID.

Figura 15 - Diagrama de blocos de um sistema com realimentação



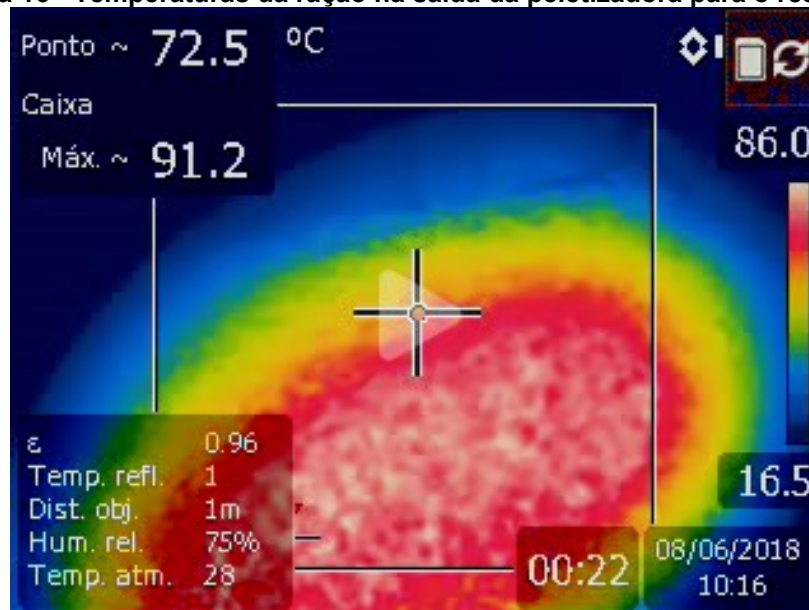
Fonte: Segalla (2021)

De acordo com Segalla (2021), quando o sistema é excitado com uma entrada $y_{ref}(t)$, há uma resposta $y(t)$ que representa a reação do sistema a esta excitação. Para que o sistema atue de uma forma cada vez mais precisa é necessário então que a saída seja realimentada ao sistema e comparada com a entrada, gerando um sinal de erro $e(t)$. Este erro se transforma em um “novo” sinal de entrada e é tratado pelo controlador PID, e é sobre ele que os três termos atuam de forma a tentar atingir parâmetro ideal.

5.4.3 Implantação da malha de controle

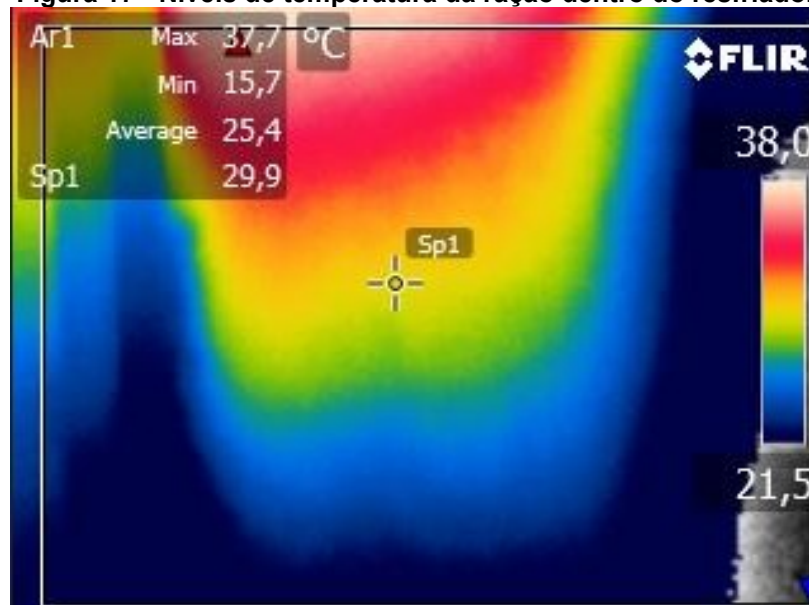
As Figuras 18 e 19 mostram respectivamente o momento em que a ração sai da peletização e chega no resfriador com aproximadamente 91°C; e após um tempo de retenção se formam “camadas” de diferentes temperaturas dentro do resfriador.

Figura 16 - Temperaturas da ração na saída da peletizadora para o resfriador



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 17 - Níveis de temperatura da ração dentro do resfriador

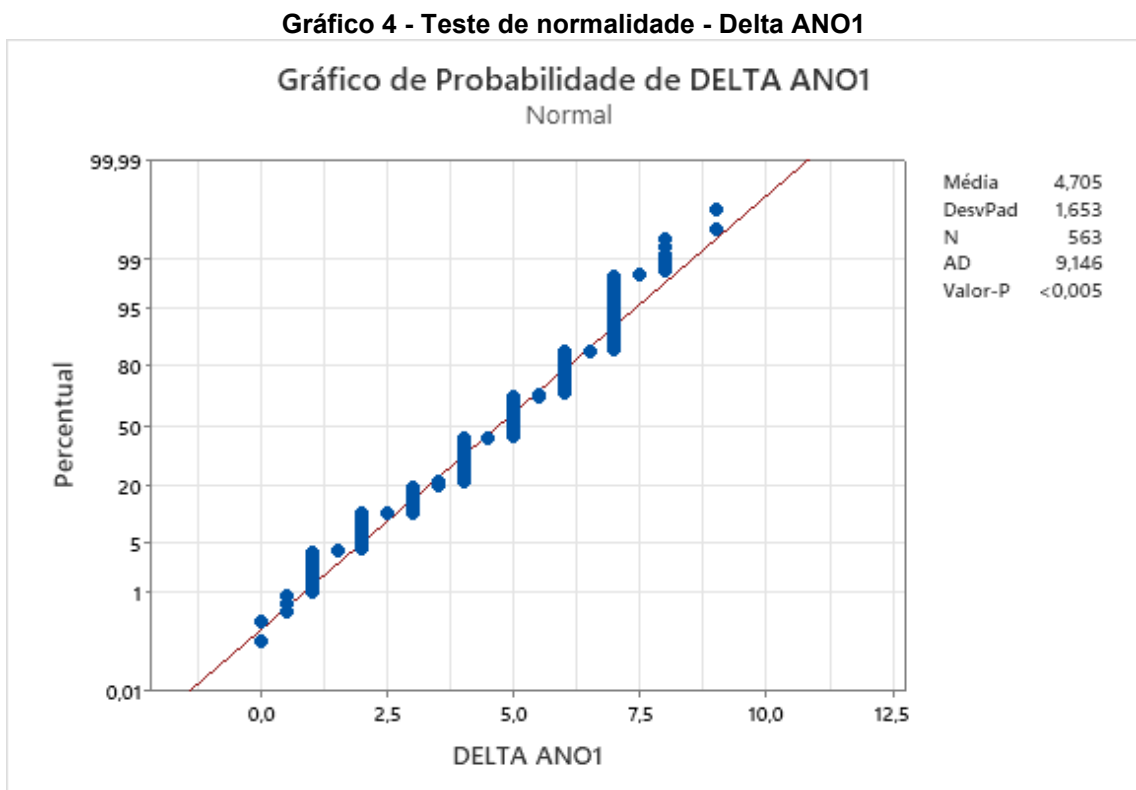


Fonte: Autoria própria (2023)

Por boa prática de produção e qualidade, a ração deve sair do resfriador com no máximo 10°C acima da temperatura ambiente, para evitar a condensação de umidade e aumentar o risco de proliferação de fungos e bolores. Esse valor é adotado pelas fábricas de ração em geral e comumente conhecido entre os profissionais da área. Por este delta de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$ resfriador - $T^{\circ}\text{C}$ ambiente) também é possível estimar se o tempo de retenção da ração no resfriador foi adequado. Um delta próximo a 0°C significa que o tempo de retenção foi acima do ideal e a ração perdeu muita umidade. Já um delta acima de 10°C mostra que o tempo de retenção foi abaixo do

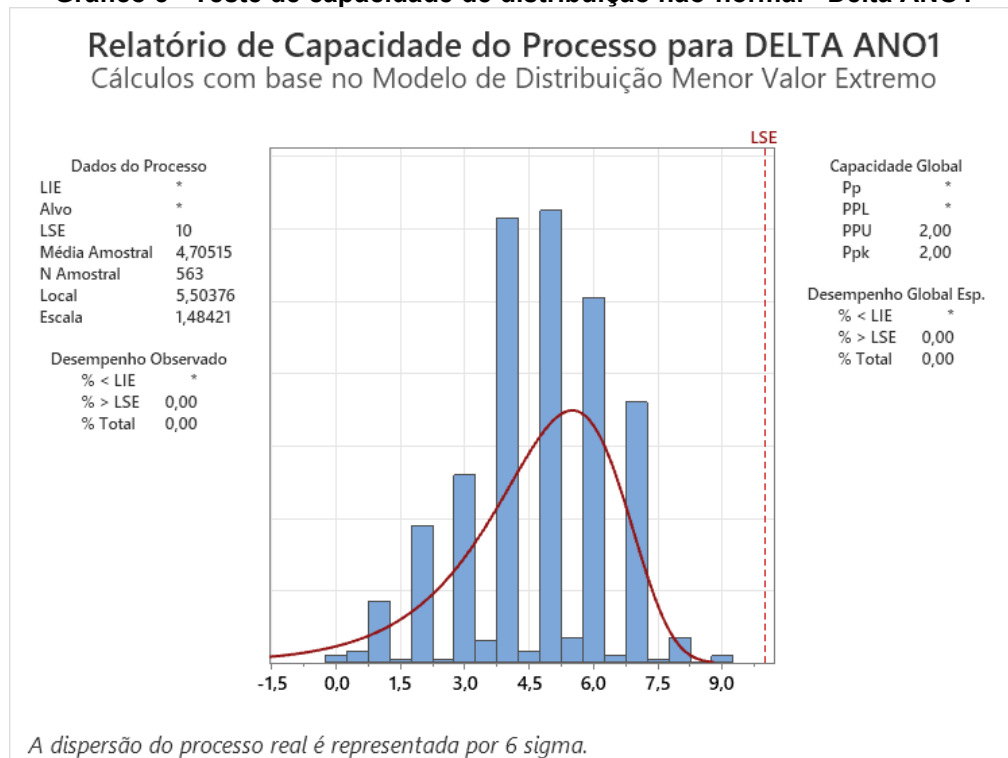
ideal, a ração sai com excesso de umidade e com risco de condensação e posterior proliferação microbiana.

Analisando os dados do delta de temperatura com o controle de descarga manual é possível que os dados não apresentem distribuição normal, como demonstra a Figura 17. Já no Gráfico 4 é possível observar que os dados estão distantes do Limite Superior de Especificação (LSE) de 10°C.



Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 5 - Teste de capacidade de distribuição não-normal - Delta ANO1

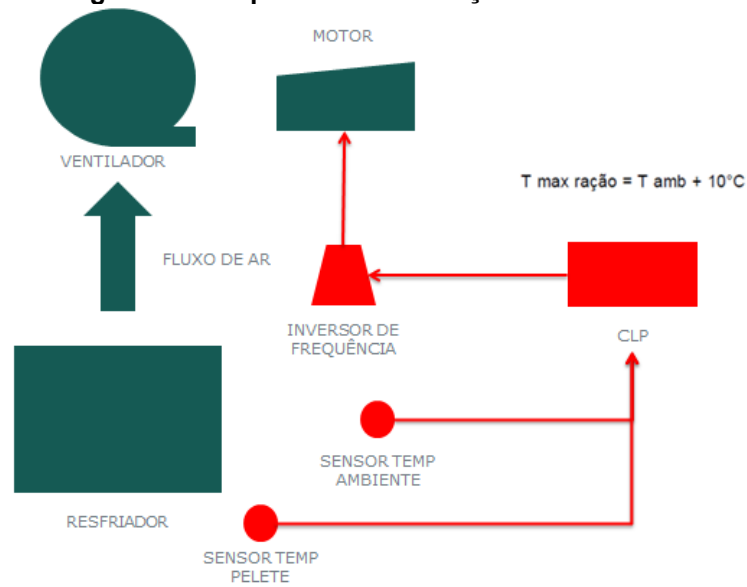


Fonte: Autoria própria (2023)

Para a solução deste problema o processo de resfriamento foi automatizado com a inclusão de sensores de temperatura e um inversor de frequência no ventilador responsável pelo fluxo de ar do equipamento. Foi criada uma malha de controle que determina a velocidade de giro do ventilador de acordo o delta da temperatura da ração em relação à temperatura ambiente.

Nesta aplicação a variável controlada é a temperatura; a variável manipulada é a velocidade do ar (através da frequência de rotação do ventilador) e o controlador é o CLP (Controlador Lógico Programável) que possui a malha de controle e atua o inversor de frequência instalado no circuito do ventilador. É possível observar o esquema do controle implementado no Gráfico 5.

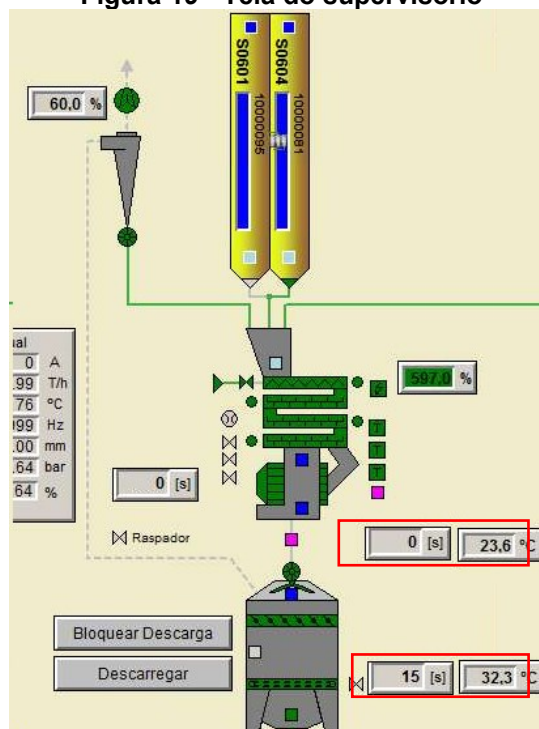
Figura 18 - Esquema da automação do resfriador



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 18 indica como ficou a automação na tela do supervisório da planta, com destaque para a temperatura da ração dentro do resfriador e a temperatura ambiente.

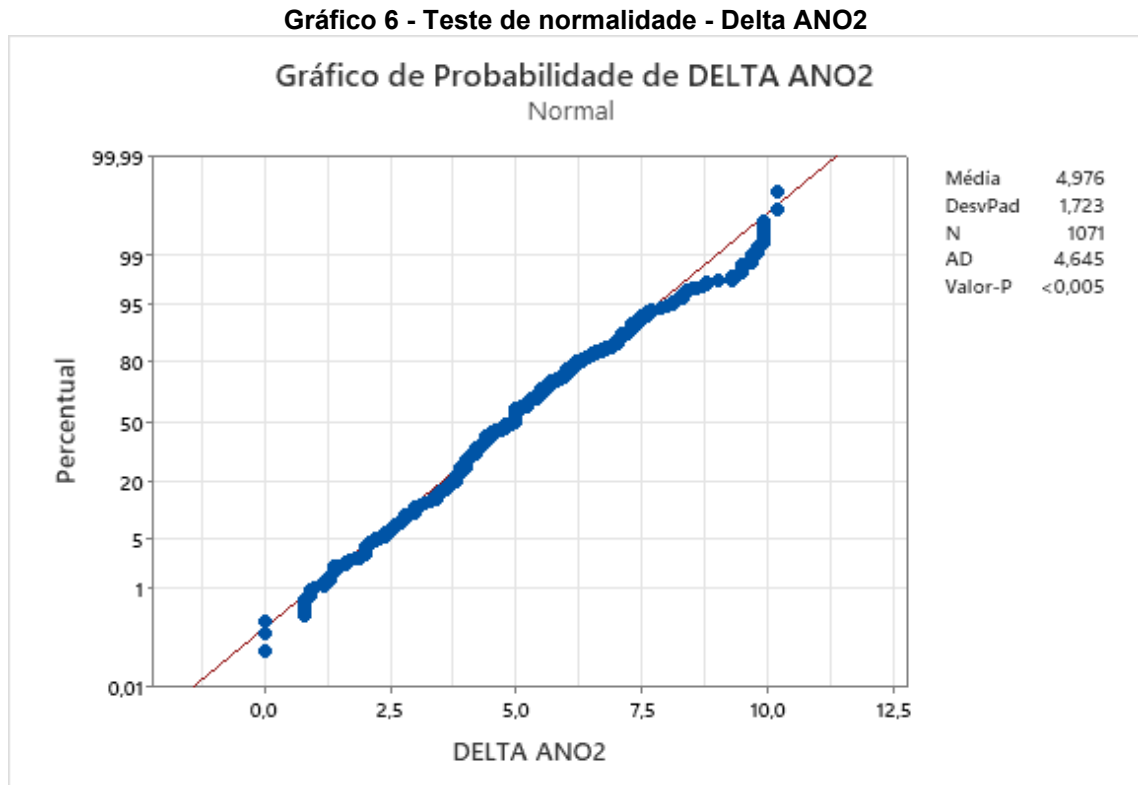
Figura 19 - Tela do supervisório



Fonte: Autoria própria (2023)

Após a automatização do processo é possível verificar que embora a probabilidade dos dados ainda continue com o p-valor menor que 0,005, sua

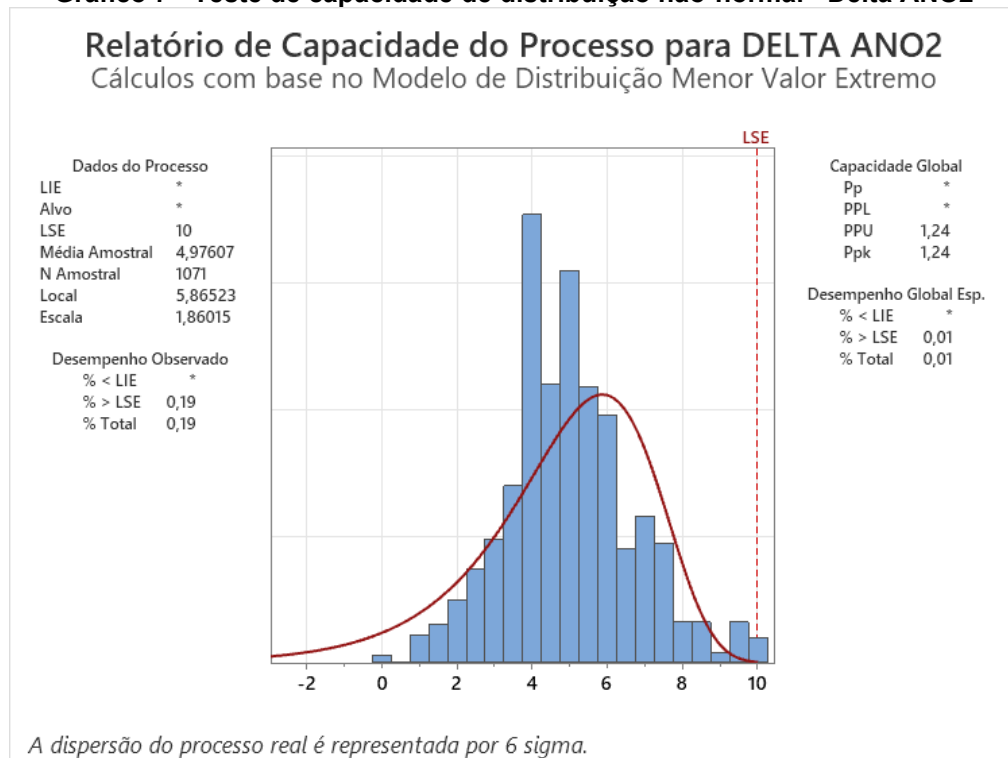
distribuição se aproxima mais da curva normal, se comparado com os dados antes da automatização do processo. O Gráfico 6 representa esta probabilidade:



Fonte: Autoria própria (2023)

Outro ponto importante é possível observar no Gráfico 6. Os dados estão mais próximos do LSE, isso significa um menor tempo de permanência da razão no resfriador e conseqüentemente uma menor perda de umidade nesta etapa.

Gráfico 7 - Teste de capacidade de distribuição não-normal - Delta ANO2

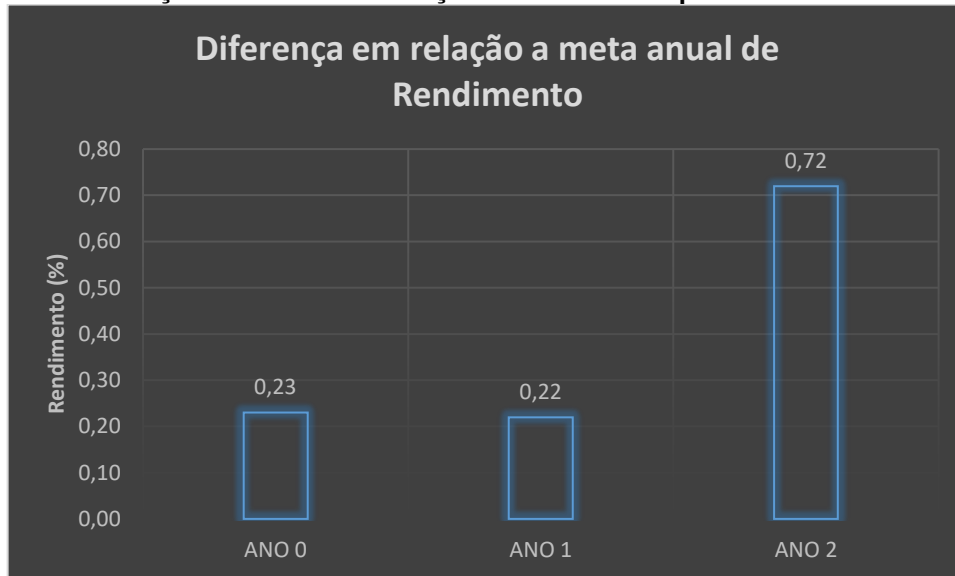


Fonte: Autoria própria (2023)

Após as alterações em alguns processos da produção de ração, foram analisados a evolução dos principais indicadores impactados com as mudanças. O “Ano 0” corresponde ao ano sem as mudanças; o “Ano 1” foi o ano onde os processos foram alterados de forma gradativa, já que não foram todas as mudanças realizadas ao mesmo tempo; já o “Ano 2” foi o período em que todas as alterações estavam totalmente implementadas.

O Gráfico 7 indica a evolução dos resultados para o indicador “Rendimento”. Este indicador para essa fábrica em questão é o balanço de massa de todo o produto acabado gerado em relação a toda matéria-prima consumida. Pelo indicador é possível mensurar a eficiência em relação as perdas de material em todas as etapas, principalmente transferência, recepção e armazenagem. E também sobre a manutenção de qualidade por todo o processo produtivo.

Um valor satisfatório para a diferença entre o realizado e o orçado para a meta de rendimento é acima de zero. Isso significa que as perdas são nulas ou foram compensadas pelos ganhos de massa e umidade durante o processo. Pelos valores dos dois primeiros anos é possível verificar que a planta possui um rendimento satisfatório, mas que após a implantação das alterações o excedente do rendimento que foi de aproximadamente 3 vezes mais em relação aos anos anteriores.

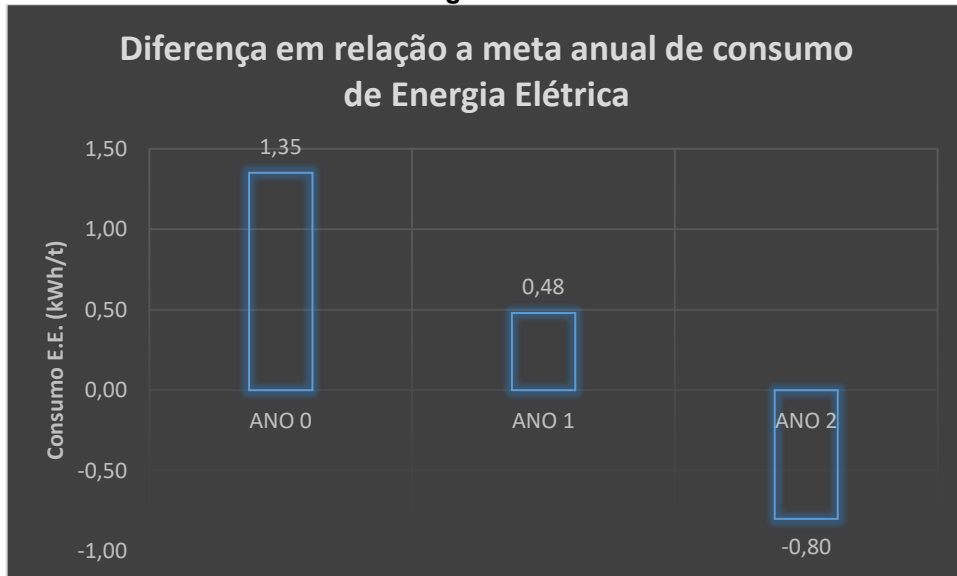
Gráfico 8 - Diferença entre os valores orçados e realizados para o indicador Rendimento

Fonte: Autoria própria (2023)

Em relação ao resultado do ano anterior, após a implantação das melhorias propostas e descritas neste trabalho, o rendimento da planta aumentou aproximadamente 1%. Este ganho em relação ao orçamento de matéria-prima da fábrica trouxe um ganho financeiro significativo para o negócio.

No Gráfico 8 é possível observar a evolução do indicador de consumo de energia elétrica. Para este indicador o valor ideal para a diferença entre o consumo realizado e o consumo orçado é menor do que zero, isso significa economia de energia na produção de ração. Nos primeiros anos analisados o consumo de energia realizado foi maior do que o orçado; já no ano onde as alterações estavam implementadas o consumo de energia realizado foi menor do que o consumo orçado. Isso corrobora com a fundamentação teórica de que uma maior umidade da massa proporciona uma lubrificação para a massa de ração antes da peletização, e com isso o esforço do equipamento é menor para produzir os peletes e conseqüentemente o consumo de energia também é menor.

Gráfico 9 - Diferença entre os valores orçados e realizados para o indicador Consumo de Energia Elétrica



Fonte: Autoria própria (2023)

Em relação ao resultado do ano anterior, após a implantação das melhorias propostas e descritas neste trabalho, o rendimento da planta aumentou aproximadamente 5,9%. Historicamente, nesta fábrica em questão, este foi o primeiro ano em que a meta de consumo de energia elétrica foi atingida.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais indicadores analisados evidenciaram que as alterações propostas e implementadas tiveram impacto positivo no processo, pois refletem em ganho financeiro. Isso comprova que a importância das empresas investirem em inovação dos seus processos.

As mudanças de processos implementadas foram todas ajustes de parâmetros de equipamentos ou automatização de atividades que antes eram manuais, isso garante a manutenção dos resultados alcançados.

O controle da umidade em níveis adequados é benéfico tanto em garantia de qualidade de produto como em aumento de produtividade para a produção de ração peletizada.

REFERÊNCIAS

ADVANTECH Manufacturing, INC. **Test sieving: principles and procedures.** 2001. Disponível em: http://www.advantechmfg.com/pdf/principles_procedures_manual_with_tables-2.pdf. Acesso em: 13 out. 2021.

ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers). **Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving.** Niles Road, St. Joseph: ASABE, feb. 1997.

BEHNKE, K. C. **Principles of mash conditioning.** *In: Feed Pelleting Reference Guide.* Manhattan (USA): Kansas State University, 2014.

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 AVES E SUINOS. Anais [...],* Concórdia (SC): EMBRAPA CNPSA, 2009. p. 57-70.

BÍBLIA. **Provérbios: 24.** Com a sabedoria se edifica a casa, e com a inteligência ela se firma; e pelo conhecimento se encherão as suas câmaras [...]. Disponível em: <https://www.bibliaonline.com.br/acf/pv/24>. Acesso em: 12 fev. 2023.

BORTONE, E. **Matching product to cooling process.** *In: Feed Pelleting Reference Guide.* Manhattan (USA): Kansas State University, 2014a.

BORTONE, E. **Mixing considerations when pelleting livestock feeds.** *In: Feed Pelleting Reference Guide.* Manhattan (USA): Kansas State University, 2014b.

BUHLER. **Manual prensa peletizadora AHPE 900.** [Curitiba]: [Buhler], [2023].

CAVALCANTI, W. B.; BEHNKE, K. C. Effect of composition of feed model systems on peletes quality: a mixture experimental approach II. **Cereal Chemistry**, v. 82, p. 462-467, 2005.

FARENHOLZ, A.C. **Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability.** Thesis (Grain Science and Industry) - Kansas Universty, Kansas (USA), 2012.

FAIRFIELD, D. A. Pelleting for profit: feed and feeding digest. **National Grain and Feed Association**, p. 1, v. 54, n. 6, nov. 2003.

FROETSCHNER, J. Conditioning controls pellet quality. **Feed Tech**, v. 10, n. 6, 2006a.

FROETSCHNER, J. The quest for perfect pellet. **Feed Tech**, v. 10, n. 5, 2006b.

GARCIA, C. **Controle de processos industriais: estratégias convencionais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2018.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GUIMARÃES, L. S.; MAIA, C. A. Controle de linhas de montagem via modelos Max-Plus lineares realimentados. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE*, 14., 2019, **Anais [...]**, Ouro Preto (MG): Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.

HEIMANN, M. Grinding considerations when pelleting livestock feeds. *In: Feed Pelleting Reference Guide*. Manhattan (USA): Kansas State University, 2014.

KEMIN. **KEM WET™ LR**: maior eficiência produtiva, melhor qualidade de pellets. Nutrição e Saúde Animal. Disponível em: <https://www.kemin.com/sa/pt/markets/animal/products/kem-wet>. Acesso em: 12 fev. 2023.

KERSTEN, J.; ROHDE, H. R.; NEF, E. **Principles of mixed feed production: components, processes, technology**. Bennekom (HOL): AgriMedia, 2005.

KLEIN, A. A. **Curso intensivo em processos de fabricação de rações**: desde a recepção de matérias primas até a entrega da ração no campo. [São Paulo]: Agropec, 2018.

KRISHNAN B. R.; PRASATH K. A. Six Sigma concept and DMAIC implementation. **International Journal of Business**, v. 3, n. 2, p. 111-114, 2013.

LARA, M. A. M. **Processo de produção de ração**: moagem, mistura e peletização. 2013. Disponível em: <http://nftalliance.com.br/assets/Uploads/Artigo-Unifrango-2.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

MURAMATSU, K. **Aplicação de modelagem preditiva no processo de peletização de rações para frango de corte**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MURAMATSU, K.; *et al.* Factors that affect pellet quality: a review. **Journal of Agricultural Science and Technology**, n. 5, p. 717-722, 2015.

NARDINO, R. L. **Concepção do mapa de processo e procedimento operacional padrão de uma estação de tratamento de efluentes em um frigorífico de aves**. 2019. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco (PR), 2019.

OLIVEIRA, M. F. **Metodologia científica**: um manual para a realização de pesquisas em administração. Catalão (GO): UFG, 2011.

PET FOOD. **Industrial transport**. Sept. 2022. Disponível em: <https://en.allextruded.com/entrada/industrial-transport-53984>. Acesso em: 12 fev. 2023.

RANA, P.; KAUSHIK, P. Initiatives of Six Sigma in an automotive ancillary unit: a case study. **Management Science Letters**, n. 8, p. 569-580, 2018.

SEGALLA, L. F.; **Análise de controladores PID fracionários**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville (SC), 2021.

SCHOROIJEN, H. Correct conditioning assures proficient pelleting. **Feed Tech**, v. 9, n. 5, 2005.

SHANKAR, R. **Process improvement using Six Sigma: a DMAIC guide**. Milwaukee (USA): Quality Press, 2009.

SOFIONI, E. **Peletização**. [Curitiba]: Andritz Feed & Biofuel Brazil, 2015.

TRIMARJOKO, A.; PURBA, H. H.; NINDIANI, A. Consistency of DMAIC phases implementation on Six Sigma method in manufacturing and service industry: a literature review. **Management and Production Engineering Review**, v. 11, n. 4, p. 34-35, 2020.

VASTOLO, A.; CALABRO, S.; CUTRIGNELLI, M. A review on the use of agro-industrial CO-products in animals' diets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 21, n. 1, p. 577-594, 2022.

ZUNIGA, R.; PEREZ, E. **Measuring physical quality of pellets and extrudates: a material science approach**. 2012. CIEN Austral (Center for Nutritional Research). Puerto Montt (CHI). Disponível em: http://www.cienaustral.cl/wp-content/uploads/2011/11/rzuniga_vicam1.pdf. Acesso em: 12 jan. 2022.