

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA UMIDADE NO PROCESSO DE PELETIZAÇÃO DE RAÇÕES

Elson Luiz dos Santos¹
Igor Schmidt²

RESUMO

O trabalho elaborado teve como objetivo realizar ensaios para identificar as variáveis do processo de peletização que mais interferem na diferença de umidade da ração, buscando definir índices que otimizem o resultado final. Os testes realizados apresentaram resultados de forma satisfatória, onde puderam ser analisados de forma a identificar as variações existentes no processo produtivo estudado. As análises indicaram que a umidade relativa do ar ambiente não tem interferência significativa no resultado final do produto acabado. A pressão de injeção de vapor no condicionamento também não apresentou variações no resultado final. Este parâmetro pode trabalhar com índices que variam de 0,5 a 2,0 bar de pressão, sem que haja alteração na umidade final da ração. O nível do resfriador apresentou diferenças significativas nos testes realizados, indicando que a operação com nível de 0,90 m tem como resultado uma diferença de umidade positiva média de 0,18% com desvio padrão de 0,18%. Foi identificada uma oportunidade de melhoria no processo de produção, com potencial de redução de perdas no processo em função da perda de umidade por evaporação, podendo ter um controle de forma mais eficiente dos estoques de produto acabado.

Palavras-Chave: Peletização; Umidade; Resfriamento.

1 INTRODUÇÃO

Como o Brasil é um dos maiores exportadores de alimentos a base de proteína animal do mundo, a indústria de nutrição animal tem uma enorme importância para o segmento da alimentação. Segundo a empresa brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa, 2023), a nutrição representa 70,64% na composição do custo de produção de proteína animal no Brasil. Neste contexto, buscando a redução de custos, as agroindústrias dedicam maiores esforços na otimização dos processos de produção de rações.

Um dos processos que melhoram o desempenho zootécnico dos animais é a peletização, onde é feito um tratamento térmico na ração, sendo esta prensada em uma matriz para tomar forma de peletes e também para esterilizá-la. Neste processo há uma adição de vapor saturado na ração já misturada para inclusão de umidade e temperatura para possibilitar a formação dos peletes. Como no processo há um incremento de calor e umidade na ração, é necessário que esse calor e umidade sejam removidas em uma operação posterior, no trocador de calor. Este

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. E-mail elsonlds@hotmail.com

² Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. E-mail igor@uceff.edu.br

resfriamento é dado pelo fluxo de ar em sentido contrário ao fluxo da ração, este fluxo acaba por retirar a umidade da ração sem um controle efetivo, gerando diferenças no estoque final dos produtos acabados. As diferenças de estoque acabam prejudicando as programações de produção, além de terem um custo adicional de produção. Desta forma, é imprescindível que sejam estudadas ações que possam definir os índices das variáveis do processo para que as diferenças de estoque sejam as menores possíveis.

Com o propósito de otimizar o processo de resfriamento, será feita uma análise do comportamento da umidade no processo de peletização de rações para alimentação de aves de corte. Para isso, serão identificadas as variáveis do processo de peletização que mais interferem no resultado, buscando definir os índices destas variáveis que tornem o processo o mais eficiente possível. Para isso, serão testadas diferentes combinações destas variáveis, tabulando seus valores para uma análise e definição dos índices que alcancem o melhor resultado no processo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PELETIZAÇÃO

A peletização é um processo aplicado às rações para melhorar o desempenho zootécnico dos animais. Na definição de Klein (2009), a peletização é a transformação físico química da ração farelada em granulada, através da adição de vapor à ração farelada e sua submissão a temperatura, umidade e pressão devidamente controladas por um tempo determinado, proporcionando a gelatinização parcial do amido, plastificação das proteínas, amolecer as fibras e assim melhorar a digestibilidade e a qualidade dos peletes. Além disso, Klein (2009) define os principais objetivos da peletização como sendo os listados no Quadro 1.

Quadro 1 - Objetivos da peletização.

1	Aumentar a palatibilidade da ração.
2	Mudar a forma física (tamanho da partícula), o que facilita e estimula a ingestão.
3	Evitar ou reduzir a seleção dos ingredientes.
4	Evitar ou reduzir os efeitos da separação da mistura.
5	Aumentar a densidade da ração reduzindo espaços de armazenamento
6	Diminuir as perdas de ração tanto por geração de pó na armazenagem
7	Diminuir as perdas de ração tanto por geração de pó na armazenagem
8	Aumentar a durabilidade da ração (shelf life).
9	Minimizar a energia de consumo por parte dos animais.

Fonte: Adaptado de Klein (2009).

O processo de peletização, inicia-se após a ração já estar nas características de formulação e mistura definidas, não tendo mais nenhuma adição de componentes nutricionais nesta etapa do processo produtivo. Nesta operação, a ração é adicionada ao condicionador através de uma rosca alimentadora que regula a quantidade necessária de acordo com a capacidade do equipamento.

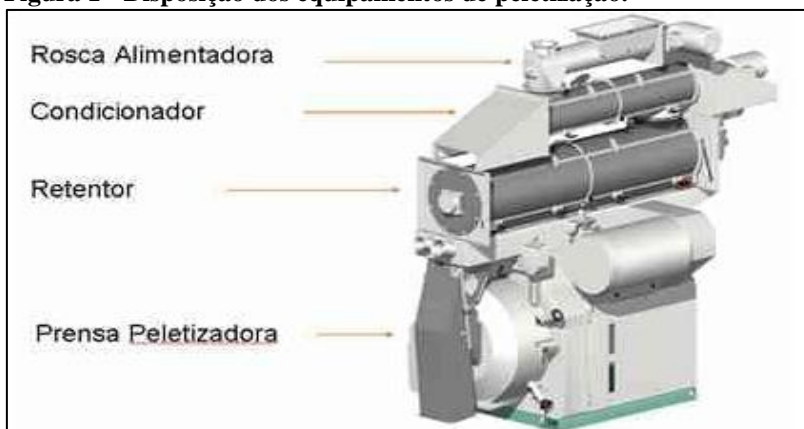
No condicionamento, é adicionado vapor saturado à massa de ração agregando umidade e calor de forma que esta atinja condições físicas favoráveis a compactação e formação dos peletes. Como a formulação e a moagem, que define a granulometria são processos anteriores a peletização, o condicionamento torna-se o principal responsável pela qualidade de pelete na peletização, merecendo atenção especial na definição de suas variáveis de processo.

Assim, a peletização consiste em comprimir a ração contra uma matriz com furos cilíndricos de diâmetro variado conforme a característica física desejada para cada espécie. Esta ração é comprimida através de rolos em um movimento circular em conjunto com a matriz, forçando a ração a passar pelos orifícios formados os peletes (grãos).

2.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA PELETIZAÇÃO

Independentemente dos fabricantes, o conceito e a disposição dos equipamentos para peletização são sempre os mesmos, havendo basicamente diferenças construtivas em dimensões e materiais aplicados. Na Figura 1 está representado exemplo da disposição dos equipamentos em suas respectivas ordem conforme o fluxo necessário para funcionamento adequado.

Figura 1 - Disposição dos equipamentos de peletização.



Fonte: Buhler (2022).

2.2.1 Rosca alimentadora

Na definição de Milman (2006), o transportador denominado de rosca transportadora, ou trua, é um equipamento destinado ao transporte horizontal ou inclinado de produtos sólidos, sendo que o transporte do material se dá por arraste, devido ao giro do helicóide. Basicamente o equipamento trabalha com o princípio de funcionamento de um parafuso de Arquimedes.

2.2.2 Condicionador

O condicionador é o equipamento responsável pela mistura da ração farelada com o vapor saturado, onde há inclusão de umidade e calor ao fluxo contínuo de ração, em quantidade controlada para que a temperatura fique dentro dos parâmetros definidos para cada formulação a ser processada.

Para Behnke (2014), o condicionador é um único cilindro com um eixo agitador, com o objetivo de proporcionar o contato entre o vapor e a mistura de ração. Complementa ainda que o processo de condicionamento inclui qualquer processamento ou adição feita à mistura depois que ele sai do misturador, mas antes de chegar à máquina peletizadora. Portanto o condicionamento pode incluir adição de vapor, água, expansão, compactação, pré-peletização e maturação. Embora esses processos são mais direcionados à plantas de produção de rações específicas como as rações PET (animais domésticos), em algumas situações também são aplicadas às rações de aves de corte e suínos.

2.2.3 Retentor

O condicionador de longa duração (LTC), ou retentor como amplamente conhecido nas indústrias nacionais, trata-se de um equipamento com a função de fazer um transporte lento da ração do condicionador até a peletizadora, garantindo um tempo mínimo para que a temperatura e a umidade adicionadas no condicionador tenham a ação desejada de gelatinização do amido para facilitar a aglutinação dos ingredientes na formação dos peletes, além de esterilizar a ração devido ao tratamento térmico durante o processo de transporte. Isso tem um efeito considerável na biossegurança, otimizando a qualidade nutricional da ração e melhorando a capacidade de peletização do produto, bem como a qualidade dos peletes.

2.2.4 Prensa peletizadora

A peletizadora é a máquina que faz o pelete de fato, comprimindo a mistura de ração e vapor contra uma matriz rotativa, com configuração de furação e compressão determinada para cada tipo de animal, através de rolos de compressão, formando os grânulos ou peletes.

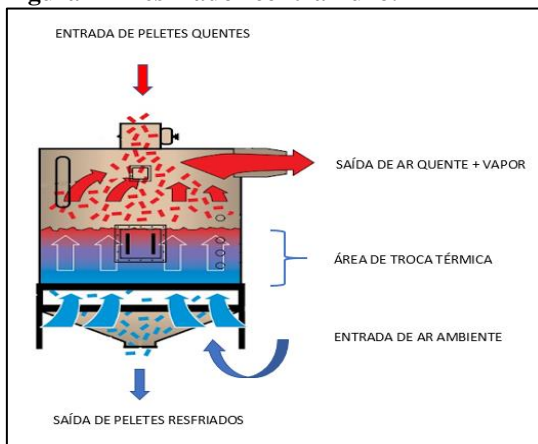
2.3 CONDICIONAMENTO

A umidade é adicionada no processo de peletização tanto no misturador quanto no condicionador. No misturador, a umidade é adicionada para reconstituir a umidade perdida durante a moagem e também vem na forma de outros ingredientes líquidos, como aminoácidos líquidos, gorduras e enzimas. Segundo Bertone (2009), o teor de umidade dos peletes varia dependendo do produto, mas pode chegar a 17% e torna-se necessário o resfriamento e secagem, pois o teor de umidade em excesso precisa ser removido para aumentar a vida útil e a dureza do pelete. Um bom resfriador deve reduzir a temperatura dos peletes para 5 a 8°C de diferença da temperatura ambiente (Bertone, 2009). Para Klein (2009), o desejável seria o máximo de 7°C.

2.4 RESFRIAMENTO

O resfriamento é um processo dinâmico de transferência de calor e massa entre as partículas da ração e o ar de resfriamento. A transferência acontece pelo resultado simultâneo da troca de calor pela convecção e pela evaporação. A Figura 2 demonstra o fluxo de ar de um resfriador modelo contra fluxo.

Figura 2 - Resfriador contra fluxo.



Fonte: VanAarsen (2022), adaptada pelo Autor.

O processo de remoção de umidade com ar é conhecido como resfriamento evaporativo. Para Silveira (2004), o resfriamento evaporativo é fundamentado na evaporação da água, na mudança da fase líquida para a fase vapor. Quando o ar, ainda não saturado passa pelos peletes, acaba absorvendo a umidade e ao mesmo tempo resfria os peletes. Com o maior fluxo de ar passando através dos peletes, mais a umidade do pelete é absorvida, até que a temperatura chegue aos níveis desejados. O diâmetro dos peletes é um fator muito importante a ser considerado ao avaliar a capacidade de refrigeração do resfriador. Como diâmetro do pelete aumenta, a quantidade de ar necessária para resfriar o produto também deve aumentar. Na Tabela 1, estão representados os fluxos de ar recomendado para cada diâmetro de pelete.

Tabela 1 - Diâmetro de pelete, tempo de permanência e fluxo de ar requerido.

Diâmetro de Pelete [mm]	Fluxo de ar [m ³ /h]	Tempo de permanência [s]
2,0	1200	6 - 8
2,4	1200	6 - 8
3,0	1200	6 - 8
3,5	1500	6 - 8
4,0	1500	8 - 10
4,5	1500	8 - 10
4,7	1600	8 - 10
5,0	1600	10 - 12
6,5	1600	10 - 12
8,0	1600	12 - 14
9,5	1860	12 - 14
12,5	1860	14 - 16
16,0	2100	14 - 16
19,0	2100	16 - 18

Fonte: Kansas State University, Adaptado pelo Autor.

Para o melhor entendimento do processo de resfriamento é importante analisar o equilíbrio da energia e a termodinâmica envolvida. Para esta análise, fazemos um cálculo considerando as seguintes premissas de um sistema.

- Teor de umidade inicial do pelete: 16%;
- Energia necessária para 1 kg de evaporação de água: 2.500 kJ/kg;
- Vazão de ar: 1.500 m³/h;
- Taxa de fluxo de massa de peletes: 1.000 kg/h;
- Calor específico do ar: 1 kJ/kg°C;
- Calor específico dos peletes: 2 kJ/kg°C;
- Diferencial de temperatura do ar: 20°C;
- Diferencial de temperatura dos peletes: 60°C.

Através da equação fundamental da calorimetria, calcula-se a quantidade de calor dos peletes e do ar através da equação (1)

$$Q = m \times C_p \times T \quad (1)$$

onde:

Q = Quantidade de Calor [kJ];

m = Vazão mássica de pelete [kg/h];

C_p = Calor específico do pelete [kJ/kg];

T = Diferença de temperatura [°C].

Para a quantidade de calor da massa de ar retirado no resfriamento, definimos como $\rho_{ar} = 1,20\text{m}^3/\text{kg}$. Desta forma tem-se

$$\dot{m}_{ar} = \rho \times V \quad (2)$$

onde:

\dot{m}_{ar} = Vazão mássica do ar [kg/h];

ρ = Densidade do ar [kg/m³];

V = Vazão volumétrica do ar [m³/h].

A quantidade de energia térmica remanescente deverá ser retirada através do resfriamento evaporativo, onde é calculado através do calor latente de vaporização, sendo:

$$Q_v = \dot{m}_a \times L_v \quad (3)$$

onde:

Q_v = Calor remanescente (kJ);

\dot{m}_a = Vazão mássica de H₂O (kg/h);

L_v = Calor Latente Vaporização H₂O (kJ/kg).

Sendo assim, considerando a conservação de massa e energia em um sistema ideal, o teor de umidade da ração após o processo de peletização deve ser igual teor de quando entrou no processo.

2.5 PSICROMETRIA

O termo psicrometria (do grego *psychrós* = "frio" e *métron* = "medição") significa, a medição da umidade do ar através do psicrômetro, que é um aparelho constituído de dois termômetros, um com o bulbo úmido e outro com o bulbo seco (Milman, 2002).

2.5.1 Ar atmosférico

O ar atmosférico é constituído por uma mistura de gases, vapor de água e outros contaminantes físicos tais como: fumaça, poeira e outros contaminantes gasosos que variam suas concentrações conforme as regiões mais ou menos poluidoras (Ashrae, 2017).

Constitui-se o ar seco quando removido todo o vapor de água e os demais contaminantes físicos existentes. Nesta condição, o ar tem sua composição relativamente constante, tendo alguma variação conforme a temperatura e altitude (Ashrae, 2017).

O ar úmido é uma mistura binária de ar seco e vapor de água. A quantidade de vapor de água na composição varia de zero (ar seco) a um valor máximo que corresponde a saturação da mistura, onde representa a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode suportar naquela condição de temperatura (Ashrae, 2017).

2.5.2 Propriedades termodinâmicas do ar úmido

Algumas propriedades termodinâmicas fundamentais do ar úmido são necessárias para estabelecer o estado termodinâmico do mesmo. As propriedades estão associadas a temperatura, quantidade de água no ar, volume e energia do ar úmido, sendo elas:

2.5.2.1 Temperatura do bulbo seco

A temperatura de bulbo seco (T_{bs}) é conhecida como temperatura do ar, na condição daquele ambiente, medida com um termômetro simples.

2.5.2.2 Temperatura termodinâmica do bulbo úmido

A temperatura termodinâmica do bulbo úmido, t_{bu} , é a temperatura de equilíbrio alcançada quando um termômetro é envolto com material úmido e este sofre um processo de resfriamento até chegar à saturação (Pereira, 1986).

2.5.2.3 Temperatura do ponto de orvalho

Para Milman (2019) a temperatura de ponto de orvalho é a temperatura na qual o ar úmido começa a se condensar por um processo de resfriamento, onde mantém-se constante a pressão de vapor e a razão de mistura. O seu valor é encontrado sobre a curva de saturação.

2.5.2.4 Pressão de vapor

A pressão de vapor é a pressão parcial exercida pelas moléculas de vapor de água presentes no ar úmido (Martinelli, 2000).

2.5.2.5 Razão de mistura

A razão de mistura ou é definida como a razão entre a massa de vapor de água e a massa de água ar seco (Ashrae, 2017).

2.5.2.6 Umidade relativa

A umidade relativa é a razão entre a pressão de vapor de água real e a pressão parcial de vapor de água na saturação à mesma e temperatura (Ashrae, 2017).

2.5.2.7 Grau de saturação

Grau de saturação é a relação entre a razão de mistura atual da mistura e a razão de mistura do ar na condição de saturação à mesma temperatura e pressão atmosférica. (Pereira, 1986).

2.5.2.8 Volume específico

O volume específico do ar é a relação entre o volume e o peso deste ar a uma dada temperatura, expresso em metros cúbicos por quilograma de ar seco (Milman, 2002).

2.5.2.9 Entalpia do ar úmido

A entalpia de uma mistura de gases perfeitos é igual à soma das entalpias parciais individuais dos componentes da mistura (Ashrae, 2017).

2.5.3 Carta psicrométrica

A Carta psicrométrica, ou também chamado de gráfico psicrométrico, é um diagrama que permite uma análise gráfica dos dados psicrométricos de maneira prática, sem soluções matemáticas complexas. Para Dossat (1980), a carta psicrométrica é uma representação gráfica das propriedades psicrométricas do ar.

A carta psicrométrica é constituída para uma pressão barométrica constante, sendo convencionada à pressão atmosférica ao nível do mar (Vianna, 2012). Para diferentes pressões será necessária uma correção da carta ou soluções através de equações matemáticas para as pressões correspondentes.

2.6 PSICRÔMETRO DE ASPIRAÇÃO

O psicrômetro é um instrumento destinado a verificar a umidade relativa do ar. O aparelho é composto de dois termômetros, um com a finalidade de registrar a temperatura ambiente (bulbo seco) e, outro envolto com tecido umedecido, para registro da temperatura do bulbo úmido. Os termômetros recebem um fluxo de ar constante por meio de um ventilador, com isso a umidade é evaporada, retirando energia do bulbo úmido (Pereira, 1986). Nestas condições, a temperatura irá baixar e, quando estabilizar, a temperatura registrada é denominada de temperatura de bulbo úmido. Determinando as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, será possível determinar as demais propriedades do ar naquela condição de forma gráfica através da carta psicrométrica, sem necessidade de equações matemáticas, com certa precisão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi feito em uma agroindústria situada na região norte do Rio Grande do Sul, que dispõe de equipamentos de processamento de rações da fabricante dinamarquesa Andritz. A linha de peletização estudada tem uma capacidade de produção de até 45 t/h de ração para frangos de corte. No Tabela 2, estão listadas as capacidades dos equipamentos.

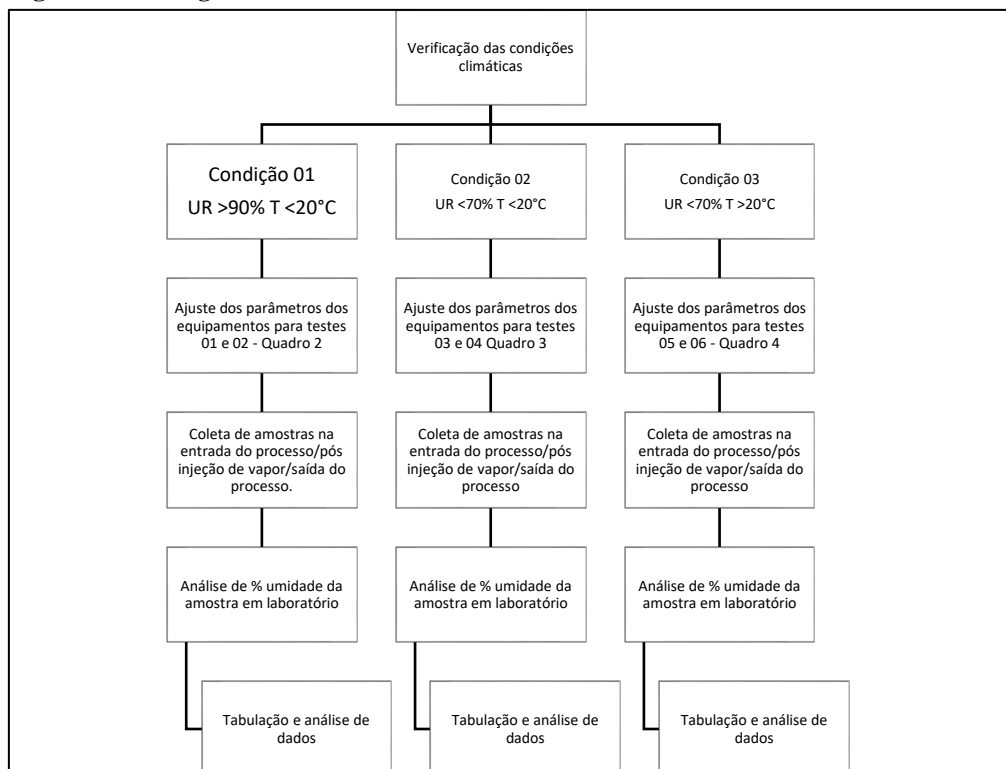
Tabela 2 - Dados dos equipamentos.

Equipamento	Capacidade Nominal	Capacidade em operação
Alimentador	50t/h	35t/h
Condicionador	50t/h	35t/h
Peletizadora	45t/h	35t/h
Resfriador	50t/h	35t/h
Exaustor	40800m ³ /h	23500m ³ /h

Fonte: Elaborada pelo Autor (2023).

Para uma análise do comportamento da umidade no processo de peletização, foram coletadas as amostras dentro do processo produtivo para análise no laboratório interno da empresa. Foram feitas análises físico-químicas a fim de mensurar os teores de umidade das amostras, tabelando os valores com o objetivo de identificar as diferenças de umidade em cada combinação de variáveis dos parâmetros de peletização.

Como os testes resultam em um número significativo de amostras, estas foram organizadas de acordo com as condições de clima, conforme o fluxograma apresentado na Figura 4. As verificações das condições climáticas foram feitas através de um termohigrômetro digital calibrado e comparado com um psicrômetro, avaliando os níveis de umidade e temperatura do ar ambiente.

Figura 4 – Fluxograma de coletas.

Fonte: Elaborada pelo Autor (2023).

Sabendo que a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente são parâmetros que estão fora do controle do processo, estas foram usadas como parâmetros de referência para definição dos testes. Como há muitos parâmetros que podem alterar o resultado final, foram definidos valores fixos de alguns destes para reduzir a quantidade de amostragem, o que não alterou a viabilidade do estudo, haja visto que estes parâmetros normalmente não são alterados por questões legais ou mesmo pela eficiência do processo. Os parâmetros definidos para os testes estão listados nos Quadros 2, 3 e 4, de acordo com cada condição de operação.

Como é necessário sabermos se houve perda do produto acabado por transferência de massa pelo resfriamento evaporativo, faz-se necessário a comparação dos teores de umidade na entrada e na saída do processo, haja visto que não há transferência de massa através de partículas sólidas. Para tanto, foram feitas coletas na saída do condicionador a fim de avaliar qual a interferência da pressão de injeção de vapor na inclusão de umidade na ração pós condicionada. Este número pode ser importante para a análise no resfriamento posterior.

De acordo com a fundamentação teórica, a pressão parcial de vapor tem grande importância na transferência de massa de água em um processo de secagem de grãos, onde quanto maior o gradiente de pressão parcial, maior a transferência de massa. Assim, com o auxílio de um medidor de coluna de líquido ou barômetro foi mensurada a pressão estática de exaustão do resfriador a fim de identificar um valor mínimo e máximo disponível no equipamento, sendo respectivamente 150 e 170 mmca. Como estes níveis de pressão estão muito próximos, optou-se por não analisar as variações deste parâmetro.

Outra variável no processo que também pode ser alterada é a altura da coluna de produto no resfriador, que pode trabalhar de um valor mínimo até um máximo, respectivamente 0,50 e 0,90 m, assim sendo, serão feitas amostragens em seus limites para tabulação e análise.

Nos Quadros 2, 3 e 4 são apresentados todos os parâmetros que foram ajustados os equipamentos para cada teste.

Quadro 2 - Condições de operação 1.

Condições de operação 01 a UR > 90% e Temperatura < 20°C			
Parâmetro	Índice	Teste 01	Teste 02
Tipo de Ração	FIXO	FR02	FR02
Temperatura do condicionador		82°C	82°C
Teor de Gordura		1%	1%
Tempo de Retenção (s)		60	60
Pressão de exaustão	VARIÁVEL	150mmca	150mmca
Pressão de injeção de vapor		2,0 bar	2,0 bar
Nível do Resfriador		Alto	Baixo
Umidade Relativa		> 95%	> 95%
Temperatura Ambiente		<20°C	<20°C

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Quadro 3 - Condição de operação 2.

Condições de operação 02 a UR <70% e Temperatura <20°C			
Parâmetro	Índice	Teste 03	Teste 04
Tipo de Ração	FIXO	FR02	FR02
Temperatura do condicionador		82°C	82°C
Teor de Gordura		1%	1%
Tempo de Retenção		60	60
Pressão de exaustão	VARIÁVEL	150mmca	150mmca
Pressão de injeção de vapor		2,0 bar	2,0 bar
Nível do Resfriador		Alto	Baixo
Umidade Relativa		<75%	<75%
Temperatura Ambiente		<20°C	<20°C

Fonte: Elaborada pelo Autor (2023)

Quadro 4 - Condição de operação 3.

Condições de operação 03 a UR <70% e Temperatura >20°C			
Parâmetro	Índice	Teste 05	Teste 06
Tipo de Ração	FIXO	FR02	FR02
Temperatura do condicionador		82°C	82°C
Teor de Gordura		1%	1%
Tempo de Retenção		60	60
Pressão de exaustão	VARIÁVEL	150mmca	150mmca
Pressão de injeção de vapor		2,0 bar	2,0 bar
Nível do Resfriador		Alto	Baixo
Umidade Relativa		<75%	<75%
Temperatura Ambiente		>20°C	>20°C

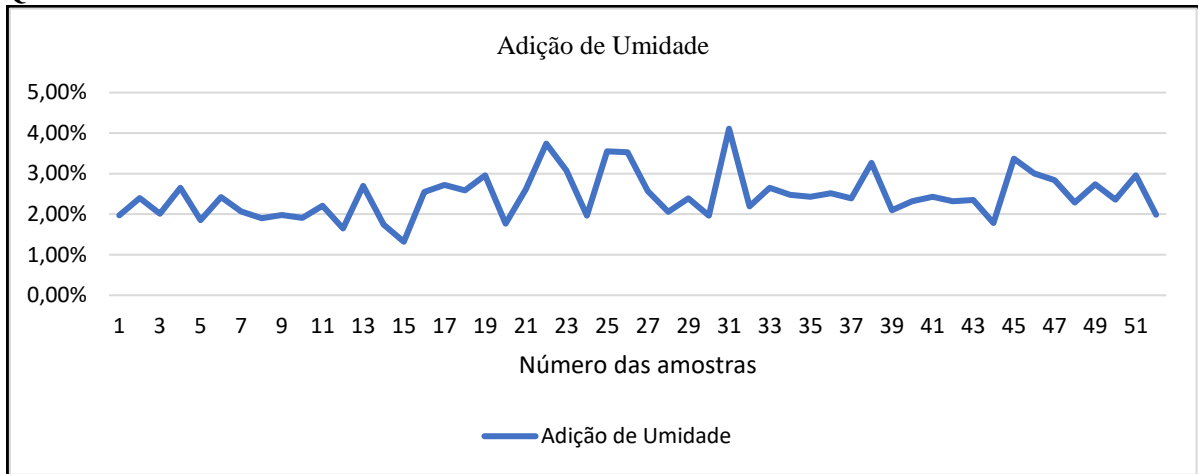
Fonte: Elaborada pelo Autor (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo do comportamento da umidade da ração no processo de peletização foi desenvolvido paralelamente à produção normal da fábrica, durante todo o mês de maio, onde tiveram variações de condições climáticas minimamente suficientes para os testes propostos.

Na elaboração do estudo foi estabilizado o processo de produção em uma capacidade de 35 toneladas por hora e a exaustão do resfriador no limite de capacidade, com uma vazão de 23800m³/h para definição dos testes.

No Quadro 5, estão representados todos os resultados das análises de umidade no condicionamento da ração, representando uma média aritmética de 2,45% de inclusão com um desvio padrão de 0,59%.

Quadro 5 – Inclusão de umidade no condicionamento.

Fonte: Elaborada pelo Autor (2023)

Para validar se a vazão de ar no resfriador está adequada, foram aplicadas as equações 1, 2 e 3, considerando as seguintes informações.

A. Dados mensurados

- Teor de umidade inicial do pelete: 14%;
- Vazão de ar: 23800 m³/h;
- Taxa de fluxo de massa de peletes: 35000 kg/h;
- Diferencial de temperatura do ar: 40°C;
- Diferencial de temperatura dos peletes: 50°C.

B. Dados tabelados

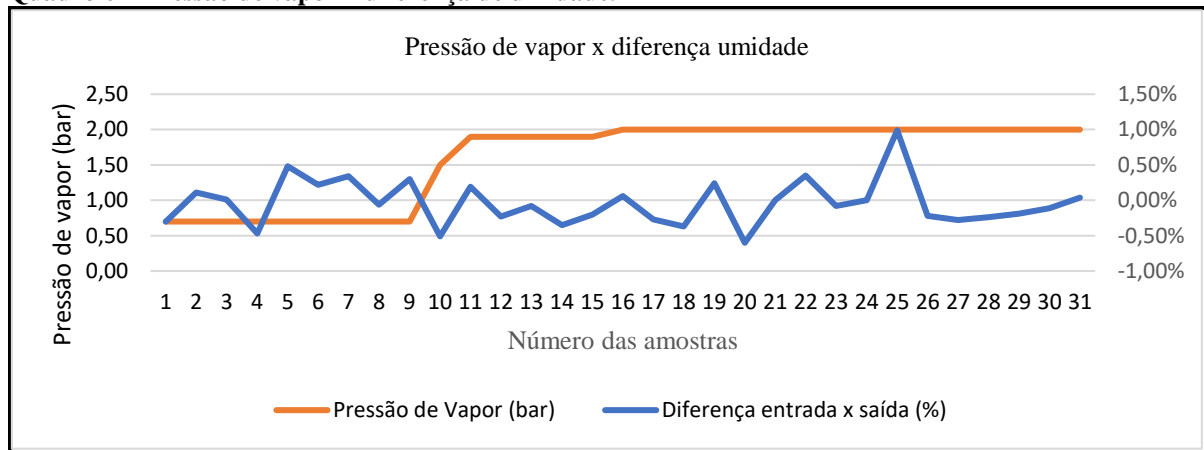
- Energia necessária para 1 kg de evaporação de água: 2.358 kJ/kg (60°C);
- Calor específico do ar: 1,014 kJ/kg°C;
- Calor específico dos peletes: 2 kJ/kg°C.

Como resultado das equações, obtemos um valor correspondente a remoção de água na forma de resfriamento evaporativo de 2,57%, o que sugere que o fluxo de ar está suficientemente adequado para esta condição de operação. As análises de diferença de umidade em relação a pressão de injeção de vapor saturado no condicionador, representadas no Quadro 6, não apresentam variações proporcionais, indicando que a pressão de injeção de vapor não tem interferência no resultado final.

A definição do índice do parâmetro de pressão de vapor pode ser trabalhada dentro do range de 0,5 a 2,0bar, sendo que o limite inferior está mais próximo do ponto de condensação do vapor, podendo gerar instabilidades no processo produtivo. Da mesma forma, o limite

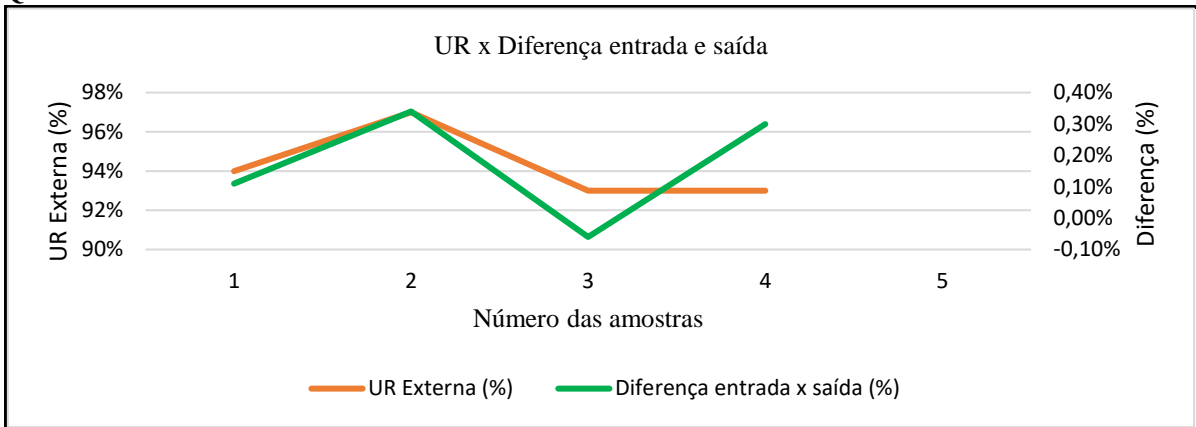
superior pode gerar dificuldade no controle linear de temperatura, gerando variações de maior amplitude.

Quadro 6 – Pressão de vapor x diferença de umidade.



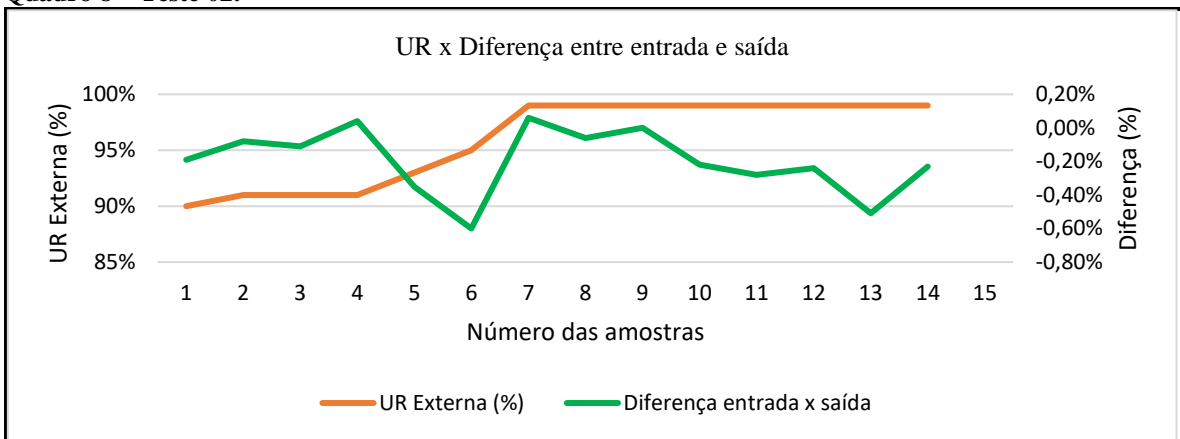
Fonte: Elaborada pelo Autor (2023)

Os testes realizados em condições climáticas com UR acima de 90% e com o nível do resfriador em 0,90 m estão representados no Quadro 7, onde indicam que nesta condição de operação a diferença no teor de umidade da ração tem uma relação direta com a UR do ar ambiente. Também foi observado que os níveis dessa diferença de umidade da ração estão, em sua maioria, ficaram acima de 0,0%, indicando que as diferenças de produto acabado final tendem a ser positivas, considerando que toda aquela quantidade de água incluída na ração durante o processo de condicionamento não foi removida no processo de resfriamento. As amostras nesta condição de operação ficaram com teor de umidade na saída em média de 0,17% acima do teor de umidade na entrada do processo, com um desvio padrão de 0,16%. Este efeito de menor absorção de umidade da ração em função da maior UR do ar é dado pela maior razão de mistura.

Quadro 7 – Teste 01.

Fonte: Elaborada pelo Autor (2023).

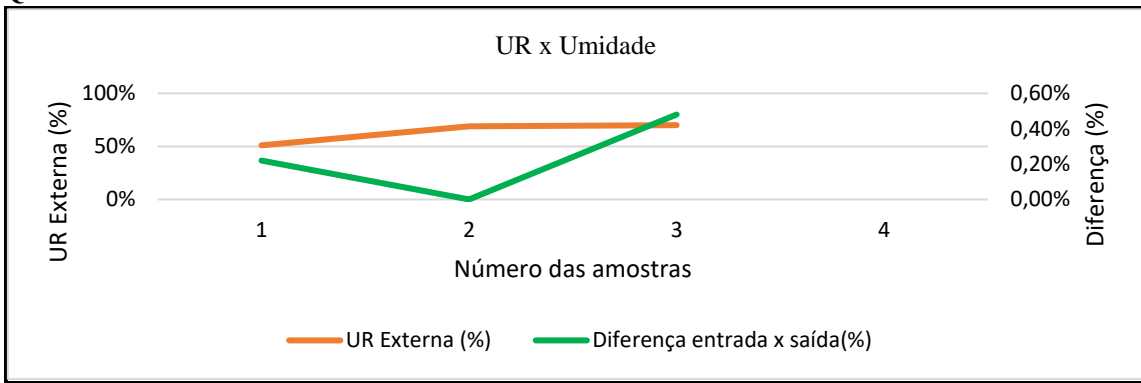
Os resultados obtidos nos testes em condições climáticas com UR acima de 90% e com o nível do resfriador em 0,50 m estão representados no Quadro 8. Neste caso, não se identifica relação de proporcionalidade entre a UR ambiente e a diferença no teor de umidade da ração. Porém, contrariamente aos testes feitos com nível de 0,90 m, a maioria das amostras indicam diferenças nos teores de umidade inferior a 0,0%. Nestes testes, o resultado das análises mostrou uma média de -0,20% de diferença de umidade da entrada em relação a saída do processo, com um desvio padrão de 0,21%. Assim sendo, as diferenças de produto acabado final tendem a ser negativas.

Quadro 8 – Teste 02.

Fonte: Elaborada pelo Autor (2023).

Os testes realizados nas condições apresentadas no Quadro 10, apresentaram um resultado médio de diferença no teor de umidade de 0,23%, com um desvio padrão de 0,20%. Apesar do número pequeno de amostras nesta condição, percebeu-se que os resultados ficaram iguais ou superior a 0,0%, indicando que os resultados do processo tendem a ter diferenças positivas, mesmo considerando a operação no limite do desvio padrão.

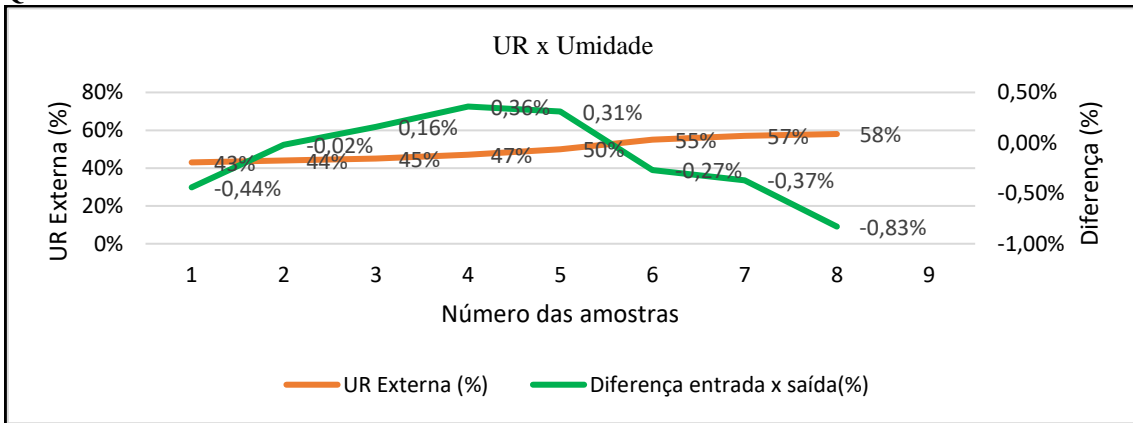
Quadro 9 – Teste 03.



Fonte: Elaborada pelo Autor (2023).

As análises realizadas em condições climáticas abaixo de UR 70% e com nível do resfriador a 0,50m representadas no quadro 9, apresentaram uma média de -0,07% com um desvio padrão de 0,40%. O valor médio de resultados das análises está adequado aos objetivos do processo produtivo, porém como o desvio padrão indicado nos testes está relativamente alto, o processo produtivo pode resultar num valor diferente da média alcançada nestas análises.

Quadro 10 – Teste 04.



Fonte: Elaborada pelo Autor (2023).

Diante de todos os resultados obtidos nas análises das amostras, identificou-se que a relação entre a UR, pressão de vapor e a diferença de umidade da ração entre a entrada e a saída do processo não tem uma relação significativa, contudo, o nível de produto no resfriador tem impacto relevante no resultado final, independentemente da UR. A pressão de exaustão do resfriador não foi possível alterar para analisar o impacto de sua variação, entretanto, na teoria, quanto maior a diferença da pressão parcial de vapor entre o ar de resfriamento e o produto, maior a transferência de massa do produto para o ar, desta forma, sugere-se trabalhar com a pressão mínima necessária para manter o resfriamento adequado.

Na Tabela 3 estão indicados os índices que melhor atendem os objetivos do processo produtivo, em que exige que as diferenças de massa entre a entrada e a saída sejam as menores possíveis.

Tabela 3 - Índices recomendados.

Parâmetro	Índice
Pressão de injeção de vapor	1,0 bar
Nível do Resfriador	0,90 m
Pressão de exaustão	150 mmca

Fonte: Elaborada pelo Autor (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes realizados na indústria em questão buscavam identificar as variáveis do processo de peletização que mais interferem na diferença de umidade da ração, buscando definir índices que otimizem o resultado final. Os testes realizados apresentaram resultados de forma satisfatória, onde puderam ser analisados de forma a identificar as variações existentes no processo produtivo estudado.

As análises indicaram que a UR do ar ambiente não tem interferência significativa no resultado final do produto acabado. A pressão de injeção de vapor no condicionamento também não apresentou variações no resultado final. Este parâmetro pode trabalhar com índices que variam de 0,5 a 2,0 bar de pressão, sem que haja alteração na umidade final da ração, tendo a possibilidade de trabalhar no índice que apresentar a melhor estabilidade de operação no processo. O nível do resfriador apresentou diferenças significativas nos testes realizados, indicando que a operação com nível de 0,90 m tem como resultado uma diferença de umidade positiva média de 0,18% com desvio padrão de 0,18%, indiferentemente dos demais parâmetros ou condições climáticas.

Com os resultados apontados neste estudo, foi identificada uma oportunidade de melhoria no processo de produção, com potencial de redução de perdas no processo em função da perda de umidade por evaporação, podendo ter um controle de forma mais eficiente dos estoques de produto acabado. Contudo, é válido um estudo sobre a interferência desta umidade extra no produto acabado, que possa causar algum efeito não avaliado neste estudo. Cabe também uma avaliação similar com outras capacidades produtivas, onde podem apresentar resultados diferentes dos obtidos nesta condição avaliada.

REFERÊNCIAS

- ASHRAE. **Handbook of fundamentals**. Chapter 1, Psychrometries. American Society Heating, Refrigerating, Air Conditioning Engineers. New York, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2021**. São Paulo, 2021
- BEHNKE, K.C. **Principles of Mash Conditioning**. Chapter 6, Feed pelleting reference guide, Kansas. 2014.
- BERTONE, Eugênio. **Matching product to cooling process**. Chapter 12, Feed pelleting reference guide, Kansas. 2014.
- EMBRAPA. **Suíños e aves**. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/custos/icpfrango>. Acesso em 06 jun. 2023.
- FERRAZ MÀQUINAS, **O processo de resfriamento das rações peletizada**. 2016. Disponível em: <https://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudo/o-processo-de-resfriamento-das-racoes-peletizadas-portal-r2s.html#:~:text=De%20uma%20forma%20geral%2C%20a,aplicador%20de%201%C3%ADquido%20e%20gordura>. Acesso em: 27 set. 2022.
- KLEIN, Antônio Apércio. **Aspectos técnicos custos benefícios e inovações tecnológicas**. Peletização de rações, Porto Alegre. 2009.
- LARA, Marco Antônio Mayer, **Processo de Produção de Ração – Peletização parte 3**. 2010. Disponível em: <https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/peletizacao-de-racao-producao-t36965.htm>. Acesso em 27 set. 2022.
- MARTINELLI, Luiz Carlos Jr. **Refrigeração e Ar Condicionado**. Pato Branco. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2000.
- MILMAN, Mário José. **Equipamentos para pré-processamento de grãos**. Pelotas. Universidade Federal de Pelotas. 2002.
- PELETIZAR. in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, 2021. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/peletizar>. Acesso em: 31 out. 2022.
- PEREIRA, José Antônio; QUEIROZ, Daniel Marçal. **Psicrometria**. Viçosa. CETREINAR 1986.
- SILVA, Antônio César Silveira Baptista. **Simulação de resfriamento evaporativo por microaspersão d'água**. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.
- VAN AARSEN. **Elementos de ligação no processo de produção**. 2022. Disponível em : <https://www.aarsen.com/pt-br/maquinas/equipamento-de-transporte/>. Acesso em 03 out. 2022.
- VIANNA, Pedro Ivo Elias. **Automação de um sistema de climatização híbrido com foco no processo evaporativo visando conforto térmico e uso racional da energia**. Brasília. 2012.