

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
CURSO DE ZOOTECNIA**

**BRUNA SCHROEDER**

**APLICAÇÃO DE MODELAGEM NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE RAÇÕES  
PARA PARAMETRIZAÇÃO DE PELETIZADORA INDUSTRIAL**

**Porto Alegre  
2018**

**BRUNA SCHROEDER**

**APLICAÇÃO DE MODELAGEM NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE RAÇÕES  
PARA PARAMETRIZAÇÃO DE PELETIZADORA**

Trabalho de conclusão de Curso  
apresentado como requisito para obtenção  
do Grau de Zootecnista, Faculdade de  
Agronomia, Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul.

**Orientador:** InesAndretta

**Coorientador:** Marcos Kipper da Silva

**Porto Alegre**

**2018**

**BRUNA SCHROEDER**

**APLICAÇÃO DE MODELAGEM NO PROCESSO DE PELETIZAÇÃO DE  
RAÇÕES PARA PARAMETRIZAÇÃO DE PELETIZADORA**

Trabalho de conclusão de Curso  
apresentado como requisito para obtenção  
do Grau de Zootecnista, Faculdade de  
Agronomia, Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul.

DATA DE APROVAÇÃO: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

BANCA – TITULAÇÃO

---

BANCA – TITULAÇÃO

---

BANCA - TITULAÇÃO

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Roberto Schroeder e Verediana Schmitz que sempre acreditaram em mim e me deram muito apoio nas minhas escolhas. Agradecer pela educação e amor que foram fundamentais para a formação do meu caráter.

A minha orientadora Ines Andretta por todos os ensinamentos, compreensão e amizade, auxiliando tanto na minha formação profissional como pessoal.

Ao meu co-orientador Marcos Kipper da Silva pelas discussões e ensinamentos.

Ao meu namorado Samuel Hismaily Melniski Salvador pela compreensão e companheirismo.

A toda equipe do Laboratório de Ensino Zootécnico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela amizade e auxílio em todos os trabalhos.

A todos os meus amigos que me apoiaram e me aconselharam.

A toda a equipe da Fábrica de Rações Languiru, em especial a equipe do Laboratório da fábrica de rações, pelo apoio e ensinamentos.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

# APLICAÇÃO DE MODELAGEM NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE RAÇÕES PARA PARAMETRIZAÇÃO DE PELETIZADORA INDUSTRIAL

## RESUMO

A peletização pode ser definida como a aglomeração de partículas pequenas em partículas maiores por meio de um processo mecânico em combinação com a umidade, calor e pressão. A qualidade do pelete e o rendimento industrial são fatores limitantes em uma fábrica de ração. Neste contexto, um estudo foi desenvolvido para parametrizar um equipamento industrial de peletização de rações para frangos de corte e suínos utilizando modelos de regressão múltipla. Dados de produção, composição bromatológica dos ingredientes e fórmulas das dietas foram coletados em uma indústria de produção de ração para frangos de corte e suínos. Na planilha eletrônica, cada coluna representou uma variável descritiva do processo de fabricação (rendimento, amperagem, pressão no condicionador e temperaturas do ambiente, do condicionador e do resfriador), características da ração (inclusão dos ingredientes na fórmula da ração e composição bromatológica dos principais ingredientes) e dados de qualidade (percentual de finos e índice de durabilidade dos peletes). Cada linha da planilha representou uma observação, ou o equivalente a um lote. Três análises sequenciais foram realizadas no programa Minitab 17 (Minitab Inc., StateCollege, PA). A primeira etapa de análise foi realizada para controlar a qualidade da base e observar a coerência lógica dos dados. Análises gráficas e estatísticas descritivas (média, erro padrão e quartis) das variáveis foram utilizadas nesta etapa. Valores que excediam ao comportamento adequado dentro dos parâmetros convencionais de fabricação foram removidos da base de dados. Em seguida, análises de correlação foram utilizadas para identificar a relação matemática entre as variáveis. Por último, análises de regressão obtidas com procedimento *step-wise* foram utilizadas para gerar os modelos de predição. Os resultados obtidos foram utilizados para compor um modelo que estima os efeitos de características da dieta e da composição bromatológica sobre as variáveis de interesse da indústria utilizando a regressão múltipla. A base de dados continha 1837 observações após a aplicação dos filtros. Os fatores que mais contribuíram na explicação da variância do índice de durabilidade do pelete foram a amperagem do equipamento (fator que respondeu por 20% da variância total), a inclusão do óleo de soja na dieta (5%), além das temperaturas do condicionador (5%) e do resfriador (3%). Para a proporção de finos, os fatores que mais contribuíram foram a amperagem (29%), a temperatura do resfriador (3%), a inclusão de óleo de soja (3%) e matéria mineral da farinha de vísceras (3%). Para rendimento, os fatores que mais contribuíram foram temperatura do resfriador (4%) e inclusão de bicarbonato de sódio e de farinha de penas (ambos com 3%). Os modelos apresentados nesse trabalho são úteis nos setores de garantia de qualidade das fábricas de ração, permitindo a melhor definição de parâmetros para monitoramento e também podem ser úteis como facilitadores nas tomadas de decisão.

**Palavras-chave:** Frangos de corte. Peletes. Qualidade do pelete. Rendimento Industrial. Suínos.

## **ABSTRACT**

Pelleting is the agglomeration of small particles into larger particles by a mechanical process that combines moisture, heat, and pressure. The quality of the pellet and industrial yield are limiting factors in animal's feed factories. In this context, a study was developed to parameterize industrial feed pelletizing equipment using multiple regression models. Production data, bromatological composition of the ingredients and formulas of the diets were collected in a feed production industry for broiler and pigs. In the spreadsheet, each column represented a descriptive variable of the manufacturing process (yield, amperage, pressure in the conditioner, and temperatures of the environment, the conditioner and the cooler), characteristics of the ration (inclusion of the ingredients in the feed formula and bromatological composition of the main ingredients), and quality data (percentage of fines and pellet durability index). Each line in the database represented one observation, or the equivalent of one feed lot. Three sequential analyzes were performed using the Minitab 17 software (Minitab Inc., StateCollege, PA). The first analysis was preformed to control the quality of the database and to observe the logical coherence of the data. Graphical analyzes and descriptive statistics (average, standard error and quartiles) of the variables were used in this step. Values that exceeded suitable pattern for the system were removed from the database. Then, correlation analyzes were used to identify the mathematical relationship between the variables. Finally, regression analyzes obtained with step-wise procedure were used to generate the prediction models. The results were used to compose a model that estimates the effects of dietary and bromatological composition on the response variables using multiple regression. The database contained 1837 observations after the filtering procedure. The factors that contributed the most to the explanation of the variance of the pellet durability index were the amperage of the equipment (factor that accounted for 20% of the total variance), the inclusion of soybean oil in the diet (5%), besides the temperatures of the conditioner (5%) and the cooler (3%). For the proportion of fines, the factors that contributed the most were the amperage (29%), the temperature of the cooler (3%), the inclusion of soybean oil (3%) and the mineral matter of viscera meal (3%). For the industrial yield, the factors that contributed the most were cooler temperature (4%) and inclusion of sodium bicarbonate and feather meal in feed formula (both with 3%). The models generated in this study are useful in the quality assurance sectors of feed factories to allow better definition of parameters for feed quality monitoring and can also be useful as facilitators in decision making process.

**Keywords:** Broilers. Industrial Income. Pellets. Pellet quality. Swine.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre valores preditos e observados para índice de durabilidade do pelete, proporção de finos (%) e rendimento de peletização (t/h) .....37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das variáveis de produção consideradas na base de dados ..	30
Tabela 2 – Descrição das inclusões de ingredientes nas rações consideradas na base de dados .....	30
Tabela 3 – Descrição da composição bromatológica dos macro-ingredientes considerados na base de dados .....	31
Tabela 4 – Modelo para prever o índice de durabilidade de pelete com base em características da peletizadora, da ração e dos ingredientes .....	34
Tabela 5 – Modelo para prever a proporção de finos com base em características da peletizadora, da ração e dos ingredientes .....	35
Tabela 6 – Modelo para prever o rendimento de peletização (média/hora) com base em características da peletizadora, da ração e dos ingredientes.....	36

## ABREVIATURAS

°C – Graus Celcius

% - Porcentagem

PDI – Índice de Durabilidade do pelete

Rpm – Rotações por minuto

mm – Milímetros

DGM – Diâmetro geométrico médio

kWh – Quilowatt-hora

kg/cm<sup>2</sup> - Quilograma por centímetro quadrado

g/kg – Grama por quilograma

µm - Micrometro

NIRS – Near-infrared spectroscopy

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
2.1 Situação atual e perspectivas da indústria de rações.....	Erro! Indicador não definido.
2.2 Processo de fabricação de peletes.....	12
2.3 Efeitos da peletização sobre os componentes da ração.....	14
2.3.1 Gelatinização do amido.....	14
2.3.2 Solubilidade e digestibilidade proteica.....	16
2.3.3 Metabolizabilidade da energia.....	17
2.4 Efeitos da peletização das rações no desempenho de suínos.....	17
2.5 Efeitos da peletização das rações no desempenho de frangos de corte.....	18
2.6 Parâmetros para avaliação de peletes.....	19
2.6.1 Índice de durabilidade de peletes.....	19
2.6.2 Quantidade de peletes íntegros.....	20
2.7 Qualidade de peletes.....	20
2.8 Fatores que afetam a qualidade do pelete.....	21
2.8.1 Granulometria.....	21
2.8.2 Adição de umidade.....	22
2.8.3 Inclusão de gordura.....	23
2.8.4 Processamento térmico.....	24
2.9 Aplicação da modelagem matemática em processos industriais.....	25
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>30</b>
4.1 Modelagem aplicada ao índice de durabilidade do pelete.....	32
4.2 Modelagem aplicada a proporção de finos da ração.....	32
4.3 Modelagem aplicada ao rendimento do processo de peletização.....	32
4.4 Análise dos valores preditos.....	33
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
5.1 Índice de durabilidade do pelete.....	38
5.2 Proporção de finos.....	39
5.3 Rendimento de peletização.....	40
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>41</b>

**REFERÊNCIAS .....42**

## 1 INTRODUÇÃO

As rações podem ser ofertadas aos animais em diversas formas físicas, como granuladas, peletizadas, fareladas, líquidas e úmidas. A forma física da ração e o processo de fabricação podem interferir no desempenho dos animais e no processo de produção (MURAMATSU, 2013). A apresentação da ração também poderá definir sua viabilidade no que se refere aos custos com alimentação.

No processo de fabricação para aves e suínos, as rações que mais se destacam são as fareladas e peletizadas. A peletização aumenta o custo da ração em torno de 2%, sendo um processo de grande demanda de energia e de capital em uma fábrica de ração (MEINERZ et al., 2001). Porém, o uso de rações peletizadas tem aumentado ao longo dos anos devido ao custo do processo ser compensado pela melhora no desempenho dos animais (MURAMATSU, 2013). As vantagens da peletização para frangos de corte são os maiores ganhos de peso em função do maior consumo, reflexo de melhor palatabilidade e preferência das aves, facilidade de apreensão, que leva à menor movimentação e menor tempo gasto com alimentação, além de melhor digestibilidade dos nutrientes e, conseqüentemente, melhor aproveitamento da energia (LARA et al., 2008). Em suínos, o uso das rações peletizadas também está associado a uma melhora na eficiência de utilização do alimento e menor desperdício de ração (SILVA et al., 2002).

A peletização pode ser definida como a aglomeração de partículas pequenas em partículas maiores por meio de um processo mecânico em combinação com a umidade, calor e pressão (FALK, 1985). Os peletes podem ser fabricados em diferentes formas, espessuras e tamanhos sendo que o equipamento responsável por isso é denominado de matriz de peletização (ZIGGERS, 2003). O processamento envolve a passagem forçada da ração através de um conjunto de furos metálicos na matriz. Esta passagem forçada acaba ocorrendo pela pressão exercida pelos rolos contra a matriz da peletizadora (WELLIN, 1976; ZIGGERS, 2003). Essa pode conter aberturas de diversos formatos e diâmetros, dependendo do material que será peletizado e/ou da espécie animal a ser alimentada (ZIGGERS, 2003).

O processo de peletização pode influenciar o rendimento da fábrica de rações, principalmente se esta não for dimensionada para comportá-lo, e possuir uma produção acima de sua capacidade de peletização. Embora incorreta, esta

condição é frequente em empresas avícolas e suínolas no Brasil, sobretudo em indústrias projetadas e instaladas há mais tempo.

A resposta ao desempenho dos animais quanto à eficiência de utilização de peletes só é atingida se houver produção de boa qualidade, capaz de manter sua integridade até o momento do consumo. Peletes de baixa durabilidade não resistem às forças de atrito, impacto e pressão (elevadores, *redlers*, helicóides, quedas) existentes ao longo dos processos de armazenamento, de transporte e de expedição da fábrica até a granja (LOWE, 2005; MINA-BOAC et al., 2006). Os peletes se desintegram produzindo uma massa farinácea conhecida como “finos”. Esses finos prejudicam o desempenho animal uma vez que seu diâmetro médio de partículas é igual ou menor do que a granulometria da ração farelada, o que pode desbalancear nutricionalmente a dieta (MURAMATSU, 2013). Segundo Nilipour (1994), peletes de má qualidade podem ser responsáveis por índices de conversão alimentar até 13% piores quando comparados com rações peletizadas de boa qualidade.

Muitos fatores podem afetar a qualidade de peletes, como a especificação nutricional da ração, granulometria de moagem, temperatura e tempo de condicionamento, umidade da ração, taxa de compressão da matriz da prensa e distância do rolo e matriz da prensa (COLOVIC et al., 2010). As variações de máquinas, linhas de vapor, matriz das peletizadoras também geram grande número de combinações, dificultando a operação e efetividade do processo em relação a sua qualidade.

Buscando manter a viabilidade econômica do processo, a qualidade do pelete e o rendimento industrial devem ser maximizados. No entanto, estas variáveis geralmente andam em caminhos opostos e o equilíbrio entre elas só é encontrado quando os fatores que afetam o processo são conhecidos. Segundo Fahrenholz (2012), existem ferramentas potenciais para modelar o comportamento individual e combinado desses fatores no processo de peletização, como por exemplo, os métodos de regressão múltipla. Esta é uma das ferramentas mais populares e eficientes nas estratégias de controle e tomadas de decisão na análise de processos. Neste contexto, um estudo foi desenvolvido para parametrizar um equipamento industrial de peletização de rações para frangos de corte e suínos utilizando modelos de regressão múltipla.

## **1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 Situação atual e perspectivas da indústria de rações**

A produção de rações segue as regras de um mercado competitivo que exige a redução de custos sem comprometer a qualidade do produto final. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de rações, superado apenas pelos Estados Unidos, União Europeia e China, sendo estes, juntamente com o Brasil, responsáveis por cerca de 70% da produção mundial de rações (IFIF, 2009).

Nos últimos anos, o Brasil apresentou volumes recordes de produção e de consumo de ração animal. A produção total do ano civil de 2017 está projetada em 69,4 milhões de toneladas do produto, com acréscimo de 3,3% sobre as 67,2 milhões de toneladas estimadas para 2016 (SINDIRAÇÕES, 2016). Os setores de produção de aves e suínos representam mais de 80% do consumo total de ração. A avicultura deve consumir 39 milhões de toneladas de rações em 2017, alta de 3,1%, em relação ao volume do ano anterior. Já a demanda da suinocultura está estimada em 16,9 milhões de toneladas de rações, com aumento de 3%.

Além do aumento na quantidade de rações produzidas, este setor da indústria está constantemente alinhado com práticas que possam melhorar a qualidade dos alimentos produzidos. Neste sentido, diversas técnicas de processamento, como por exemplo, extrusão e peletização, são adotadas nas fábricas de rações. No qual, a peletização é uma das principais técnicas de processamento no contexto de produção de ração para aves e suínos.

### **1.2 Processo de fabricação de peletes**

A peletização pode ser definida como a aglomeração de partículas pequenas em partículas maiores por meio de um processo mecânico em combinação com umidade, calor e pressão (FALK, 1985). O processo consiste em forçar uma massa farelada não compactada através de furos de um anel metálico de aço carbono ou inox tendo como resultado a formação de estruturas mais densas do que a ração farelada (ZIGGERS, 2003). Para isso, é necessário um conjunto peletizador, composto por uma rosca alimentadora, condicionador, retentor e prensa peletizadora.

A função da rosca alimentadora é regular o volume de ração direcionada para o condicionador atuando como barreira que evita o fluxo de vapor do condicionador para o silo da prensa. A temperatura e umidade são inseridas por meio de vapor e iniciam-se no condicionador. O vapor saturado agrega umidade e calor à massa farelada, de forma que esta atinja um estado físico favorável a compactação (FROETSCHNER, 2006). O objetivo da injeção de calor durante o condicionamento é melhorar a força de adesão entre as partículas da ração, principalmente por meio de gelatinização do amido (REIMER; BEGGS, 1993; SMALLMAN, 1996) e plastificação das proteínas (SMALLMAN, 1996). Essas mudanças químicas produzem substâncias com afinidade à adesão, que se ligam com os materiais menos reativos, mantendo a massa mais aderida (SMALLMAN, 1996). O calor também reduz a presença de patógenos e retira o excesso de umidade que podem estar presentes nos ingredientes utilizados para a produção das rações (REIMER; BEGGS, 1993). Além disso, o efeito lubrificante da umidade pode reduzir a força de atrito gerada na matriz da peletizadora, o que melhora a produtividade do processo como um todo (REIMER; BEGGS, 1993; SMALLMAN, 1996). Após o condicionador, opcionalmente, pode-se ser instalado um retentor que tem a função de aumentar o tempo de retenção da ração com a finalidade de prolongar o tempo de exposição da ração farelada ao vapor, mantendo a temperatura próxima daquela presente no condicionador (LARA, 2013).

Segundo Skoch et al. (1981), o condicionamento a 65 e 78 °C aumenta a taxa de produção de peletes em 250 e 275%, respectivamente, quando comparado com o condicionado a frio (21 °C). Neste estudo, as taxas de produção foram de 655, 1636 e 1800 kg/h para os tratamentos a seco, 65 e 78 °C, respectivamente. A durabilidade de pelete (PDI) também é influenciada pela adição de vapor (90,6 e 93,8% em vapor condicionado a 65 e 78 °C, respectivamente, em comparação com o PDI de 69,5% no condicionamento a seco). Esse aumento de temperatura acaba ocorrendo devido à maior quantidade de vapor adicionado dentro do condicionador para alcançar a temperatura desejada, que conseqüentemente aumenta a umidade e melhora a fluidez. Assim, para que a peletização seja eficiente, uma oferta adequada de vapor que agregue umidade no condicionador é imprescindível (CUTLIP et al., 2008).

A prensa peletizadora é composta por duas peças principais, que são a matriz da prensa e o rolo. No interior da prensa peletizadora, os defletores direcionam o fluxo da ração para os rolos, que forçam a ração farelada pelos orifícios da matriz, dando início a formação do pelete. Para que se tenha a forma do peletes, a força motriz do rolo precisa ser maior que a resistência oferecida pela matriz da prensa contra a passagem de ração. As endentações presentes no rolo compactador reduzem o deslizamento da ração e provêem pressão de 75 a 600 kg/cm<sup>2</sup> para impelir a ração para dentro dos furos da matriz (ZIEGGERS, 2003). Essas forças opostas atuam nas áreas de compressão e extrusão da interface rolo-matriz e fazem com que a ração farelada seja compactada até a densidade próxima do pelete e comece a fluir pelos furos da matriz da prensa (MURAMATSU, 2013). Quando a massa farelada condicionada com vapor passa pela matriz da prensa, o aumento na temperatura da massa não deve exceder 15 °C, caso contrário é indicativo de que parte da energia mecânica está sendo desperdiçada sob a forma de calor de fricção (KULIG; LASKOWSKI, 2008).

No último processo de peletização, a umidade e a temperatura adicionadas no condicionador devem ser retiradas no resfriador. Nesta etapa, a temperatura da ração peletizada deve ser reduzida para até 8 °C acima da temperatura ambiente e a umidade para 100-120 g/kg (ROBINSON, 1976). Este processo ocorre com a passagem de uma corrente de ar a temperatura ambiente no contra fluxo dos peletes ainda quentes. Sua ação ocorre, pois, a temperatura do ar ambiente é mais baixa do que os peletes, além de não estar saturada com umidade (WELLIN, 1976).

### **1.3 Efeitos da peletização sobre os componentes da ração**

#### **1.3.1 Gelatinização do amido**

O amido é um composto químico presente em maior abundância nos cereais (70 a 80% da maioria dos grãos de cereais), sendo a maior fonte de energia presente nas dietas dos animais domésticos (SVIHUS et al., 2005). O amido é um glucano composto por dois polissacarídeos principais, amilose e amilopectina. Sendo que a amilose é essencialmente linear e a amilopectina é altamente ramificada (SVIHUS et al., 2005).

O grânulo de amido é composto por uma função cristalina e outra amorfa e é nesta última porção que se inicia o processo de gelatinização devido à menor organização da sua estrutura (LUND; LORENZ, 1984). O processo de gelatinização do amido é favorecido pela presença de: água para enfraquecer e romper ligações existentes dentro do grânulo, calor que favorece a entrada de água e a solubilização da amilose, atrito que fornece a força necessária para o rompimento dos grânulos e tempo que potencializa o efeito dos três fatores anteriores (THOMAS et al., 1999). Quando o grânulo de amido é exposto à temperatura e umidade pode ocorrer um processo de gelatinização no qual sua efetividade depende do tempo de exposição do amido a estes fatores (THOMAS et al., 1999).

A gelatinização do amido é um processo irreversível, no qual a água se difunde para dentro do grânulo de amido, levando a ruptura das pontes de hidrogênio presente nas cadeias de amilose e amilopectina, aumento de tamanho do grânulo e extravasamento da amilose (MORITZ et al., 2003).

Existem diferentes temperaturas de gelatinização conforme o amido de diferentes cereais (LAURISTON, 1996). As rações a base de milho e farelo de soja demandam um maior tempo de condicionamento para que ocorra a gelatinização do amido e sua posterior reorganização e coesão com as demais estruturas da ração (DOZIER, 2001). Abdollahi et al. (2011) avaliaram a influência de diferentes temperaturas de condicionamento (60, 75 e 90 °C) sobre a quantidade de amido gelatinizado e resistente de dietas a base de milho e sorgo. Eles observaram que para ambas as dietas, houve maior gelatinização do amido em dietas peletizadas a 90 °C em comparação a 60 e 75 °C. No entanto, a quantidade de amido resistente aumentou nas dietas com temperatura de 90 °C. Os autores concluíram que o aumento do processamento térmico aumenta a gelatinização do amido, mas também do amido resistente. A alta temperatura ainda auxilia na formação de complexos amilose lipídica, que acarreta redução da digestibilidade do amido após peletização (ZIMONJA; SVIHUS, 2009).

### 1.3.2 Solubilidade e digestibilidade proteica

A temperatura e umidade empregadas durante o processo de condicionamento podem alterar a estrutura física das proteínas e, conseqüentemente, suas propriedades funcionais e nutricionais.

A ação da temperatura durante a peletização promove a desnaturação das proteínas existentes nos ingredientes das dietas. A desnaturação proteica refere-se às alterações físicas sofridas pelas proteínas, causando rompimento das estruturas secundária, terciária e quaternária que auxiliam a estabilização e conformação da molécula; altera sua estrutura espacial e forma arranjos mais desordenados por meio de ligações intramoleculares. As proteínas desnaturadas, geralmente, perdem parcialmente a solubilidade e a atividade biológica natural. A estrutura primária não sofre efeito de agentes desnaturantes, portanto as ligações peptídicas não são afetadas (ARAÚJO et al., 2009). A perda da estrutura tridimensional das proteínas pode resultar em novas ligações covalentes – disulfídicas, iso-peptídicas e reações de Maillard (ZIMONJA et al., 2008).

As reações de Maillard ocorrem devido ao excesso de temperatura que pode resultar em escurecimento não enzimático dos alimentos (BRIÃO et al., 2011; ARAÚJO et al., 2009). Na presença de água e de calor, os grupos aldeídos livres de açúcares redutores, tais como glucose, frutose, lactose, ou maltose, e os grupos amino livres de aminoácidos, como o da lisina em particular, podem combinar-se para formar melanoides que escurecem o produto e também aumentam a viscosidade (THOMAS et al., 1998). Esta reação tem importantes conseqüências funcionais e nutricionais (CAMIRE et al., 1990), positiva para a qualidade do pelete, no entanto, os produtos de Maillard podem prejudicar o valor nutricional do alimento devido à redução da utilização de proteínas e hidratos de carbono (THOMAS et al., 1998).

Do ponto de vista nutricional, a desnaturação parcial melhora a digestibilidade das proteínas devido à alteração na sua estrutura, permitindo que as proteases atuem mais facilmente (DOZIER, 2001). Scott et al. (1997) afirmam que o aumento na digestibilidade da proteína para frangos de corte ocorre provavelmente devido às rações peletizadas serem submetidas à alta temperatura e pressão em seu processo, resultando em rompimento das pontes dissulfeto na estrutura da proteína, causando desnaturação e aumento da eficiência das enzimas endógenas.

Abdollahi et al. (2011) avaliaram três temperaturas de condicionamento (60, 75, 90 °C) em rações baseadas em dois tipos de cereais (milho e trigo) e verificou efeito negativo da temperatura sobre a digestibilidade do nitrogênio somente em dietas a base de trigo. Portanto, Creswell e Bedford (2006) sugerem que temperaturas de peletização acima de 85 °C não devem ser empregadas a fim de evitar a formação de complexos proteína-amido, além de outras perdas nutricionais.

### **1.3.3 Metabolizabilidade da energia**

Um dos benefícios do uso de rações peletizadas para frangos de corte é o aumento no valor de energia metabolizável das rações, em decorrência da maior digestibilidade de diferentes frações da dieta (ZALENKA, 2003). Pucci et al. (2010) observaram aumento da energia metabolizável aparente (EMA) para frangos de corte que consumiram dietas peletizadas/trituradas (3.293 kcal/kg de MS) em relação aos que receberam dietas fareladas (3196 kcal/kg de MS).

Freitas et al. (2008) constataram aumento no valor de energia metabolizável aparente e energia retida como nitrogênio para frangos de corte de 1 a 7 dias que consumiram dietas peletizadas/trituradas em relação a fareladas. Enquanto Abdollahi et al. (2011) observaram redução da energia metabolizável aparente de 3350 para 3240 kcal/kg de matéria seca (MS) em frangos de corte de 1 a 21 dias que consumiram rações peletizadas em relação a fareladas.

### **1.4 Efeitos da peletização das rações no desempenho de suínos**

A peletização das rações para suínos surge como alternativa para melhorar o desempenho e o retorno econômico, redução dos efeitos deletérios de toxinas e microrganismos da ração. Através desse processo a exposição dos grânulos aumenta, sendo mais facilmente digeridos pelas enzimas gastrointestinais, disponibilizando mais nutrientes ao organismo de suínos (DURAN, 2017).

Nas fases de desmame e durante toda fase de creche, por exemplo, a peletização é utilizada para maior disponibilização de energia e melhoria na conversão alimentar (DURAN, 2017). Moreira et al. (1995), avaliaram o consumo diário de ração em leitões do desmame aos 21 dias até os 42 dias de idade utilizando ração peletizada e farelada, onde observaram uma melhora na conversão alimentar com a ração peletizada e um maior consumo da ração farelada. Os

autores atribuem estas diferenças ao maior desperdício da ração farelada (5% maior), pois o ganho de peso foi semelhante para os leitões alimentados com ração farelada ou peletizada.

O suíno em crescimento e terminação apresenta o maior consumo de ração proporcional em relação às outras fases da criação. Portanto, peletizar a ração nessas fases pode não só potencializar o desempenho, mas também aumentar o retorno líquido sobre o investimento, através de redução de desperdício de ração, maior aporte energético para o animal, incremento em peso e qualidade da carcaça (DURAN, 2017). Wondra et al. (1995), estudaram o efeito do tamanho da partícula e da peletização no desempenho, digestibilidade de nutrientes e morfologia do estômago em suínos em terminação, e observaram que a peletização melhorou o desempenho dos suínos em 5% de ganho de peso médio e melhorou em 7% a conversão alimentar. A excreção de matéria seca e nitrogênio diminuíram em 23 e 22%, respectivamente, com a utilização da dieta peletizada.

### **1.5 Efeitos da peletização das rações no desempenho de frangos de corte**

A ração peletizada melhora a digestibilidade dos nutrientes em frangos de corte, permite menor esforço físico das aves e, conseqüentemente, menor gasto energético para o seu consumo (MEINERZ et al., 2001). Noble (2005) verificou que a ração peletizada proporcionou um consumo de ração 15% maior, uma conversão alimentar (CA) 5% melhor e um ganho de peso 23% maior, em relação a ração farelada, ou seja, o maior consumo de ração pode ser explicado uma vez que o alimento granulado melhora a eficiência de apreensão do alimento pelo bico córneo da ave, além de facilitar o processo de deglutição quando comparado a ração farelada. Engberg et al. (2002) observaram que frangos alimentados com dieta peletizada, em relação a farelada, apresentaram um maior consumo, maior peso corporal e melhor conversão alimentar (CA). Abdollahi et al. (2011) avaliaram o efeito da forma física na fase inicial e reportaram aumento de 10 e 13% no ganho de peso e consumo de ração e uma melhora de 5% na CA da ração peletizada comparada às aves alimentadas com ração farelada.

## 1.6 Parâmetros para avaliação de peletes

Peletes de boa qualidade são definidos como aqueles que resistem as forças de desintegração (compressões, atritos e impactos) oriundas dos sistemas de armazenamento e transporte dentro da fábrica e ao longo do trajeto da fábrica até a granja (CAVALCANTI; BEHNKE, 2005). O processo de degradação dos peletes está associado a três mecanismos: atrito ou abrasão, na qual partículas pequenas são removidas da superfície do pelete; fragmentação, nas quais impactos intensos levam a quebra do produto em diversas partículas menores; e lasqueamento, onde as partículas grandes são removidas da superfície do produto (ZUNIGA, 2012).

Existem hoje metodologias que fazem a simulação da qualidade do pelete, ou seja, o índice de durabilidade de peletes (PDI) e quantidade de peletes íntegros.

### 1.6.1 Índice de durabilidade de peletes

O PDI é um indicador de durabilidade de peletes e reflete a percentagem de peletes que mantiveram a sua integridade após ser submetidos a forças mecânicas. O PDI pode ser determinado por meio de várias metodologias, sendo *Pfost* mais utilizada e adequada para o estudo em questão.

Esta metodologia é tipicamente empregada nos Estados Unidos (FROETSCHNER, 2006) e no Brasil. Os peletes são submetidos a impactos sucessivos simulando o estresse mecânico encontrado no transporte por elevadores, roscas e redlers. Na metodologia *Pfost*, 500g de peletes íntegros são acondicionados em uma caixa que rotaciona a 50 rpm por 10 minutos; o interior da caixa possui uma placa que força o fluxo de peletes de alternar o seu fluxo constantemente e após os 10 minutos de rotação contínua (MURAMATSU, 2013). O material é peneirado para determinar o percentual de peletes retidos na peneira dotada de furos redondos com 3,0 mm de diâmetro (LOWE, 2005). O teste *Pfost* determina a durabilidade do pelete submetendo os peletes a uma abrasão e cisalhamento entre os mesmos e contra a parede do equipamento e possui bom índice de repetibilidade (THOMAS; VAN DER POEL, 1998).

A percentagem de peletes íntegros que sobrarem após a aplicação do método de determinação da durabilidade do pelete é o PDI (MIRANDA, 2011).

### **1.6.2 Quantidade de peletes íntegros**

A eficácia 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 (MURAMATSU, 2013). Na ração peletizada os finos representam a porção que está desagregada da sua forma inicial, formando partículas menores que os peletes, sendo formados em qualquer estágio da peletização, no transporte e no manuseio da ração na granja (LIMA, 2010). A mensuração do percentual de peletes íntegros pode ser feita mediante o peneiramento da ração e consiste na separação da porção fina da porção grossa através de um recipiente perfurado ou uma malha submetida à agitação (INC, 2001).

Existe uma técnica descrita pela American Society of Agricultural and Biological Engineers (1997), na qual 100 gramas de amostra de ração é peneirada durante 15 minutos através de uma série de peneiras com diferentes aberturas, variando de 4,750 a 0,053 mm de fundo. Existe também outro método, um pouco mais simples e que se é muito utilizado em fábricas de rações. Consiste no peneiramento de 200 gramas de ração utilizando peneiras de furos redondos de 3 mm de diâmetro. Todo material retido nessa malha é considerado pelete íntegro e para que a mensuração do percentual de peletes seja representativa, deve ser realizada uma amostragem múltipla para calcular a média e do desvio padrão (MURAMATSU, 2013).

### **1.7 Qualidade de peletes**

Dentro de uma fábrica de ração o maior desafio é produzir peletes de boa qualidade. Segundo Thomas e Van Der Poel (1998), a eficácia desse processo é traduzida pela qualidade do pelete que pode ser definida pela proporção de peletes íntegros que chegam aos comedouros dos frangos e suínos, ou seja, sua resistência à quebra entre a fábrica de rações e as granjas.

A qualidade do pelete depende de todo o sistema de fabricação desde a formulação, moagem, mistura, até o resfriamento e transporte. Quando a qualidade do pelete não é atingida pode-se lançar mão de alternativas mais caras, restringir o uso de gorduras, aumentar o conteúdo de cereais e reduzir o conteúdo de fibra ou

adição de um ligante, sendo esta última alternativa a mais viável financeiramente (GILL, 1993).

Para que os benefícios da peletização da ração no desempenho sejam alcançados é necessário que esta chegue até o comedouro na sua forma íntegra ou pelo menos com baixa percentagem de finos, caso contrário, os resultados de desempenho podem ser comprometidos. À medida que aumenta a concentração de finos os resultados assemelham-se aos de uma dieta na forma farelada (ANTICO, 2015). Maiorka (1998) relata que a presença de 10 a 15% de finos na ração é considerada normal em uma fábrica de rações.

## **1.8 Fatores que afetam a qualidade do pelete**

### **1.8.1 Granulometria**

Por definição, a granulometria é um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. Na prática, o termo granulometria é usado para caracterizar o tamanho dos grânulos de um produto moído, dado pelo Diâmetro Geométrico Médio (DGM), em milímetros ou micron (ZANOTTO et al., 1999).

A granulometria é caracterizada pelo tamanho das partículas, que pode variar de muito fina a muito grossa de acordo com o tamanho dos furos da peneira do moinho, onde são processadas. Uma das formas possíveis de reduzir custos é através da geração de informações mais precisas sobre o grau de moagem do milho, de forma a identificar a granulometria que proporcione o melhor aproveitamento dos nutrientes pelas aves e suínos, associado à redução dos gastos com energia elétrica e ao aumento no rendimento de moagem (ZANOTTO et al., 1999).

O sistema de moagem é fundamental para o processo de peletização. A redução do tamanho das partículas por moagem, prensagem ou amassamento em geral melhora o desempenho do animal. Por isso, o controle do processo de moagem é importante na fábrica de rações (BELLAYER, 2000).

Durante a moagem do milho com moinho de martelos, Wondra et al. (1995) verificaram que a substituição de peneiras de DGM de 600  $\mu\text{m}$  por outra cujo DGM foi 400  $\mu\text{m}$  consumiu o dobro da energia elétrica necessária para reduzir o tamanho

da partícula de 1.000 para 600  $\mu\text{m}$ . Do ponto de vista de produção de rações, a economia com a energia elétrica e o rendimento de produção (toneladas/hora) de moagem aumenta à medida que aumenta o tamanho das partículas dos ingredientes (BELLAVAR, 2000).

Pozza et al. (2005) avaliaram a moagem, granulometria do milho e consumo de energia no processamento em diferentes moinhos de martelo. Observaram que o consumo de energia elétrica na moagem variou de 6,13 a 20,03 kWh t<sup>-1</sup> de acordo com a peneira que usaram. Estes mesmos autores concluíram que a variação da taxa de moagem e consumo de energia elétrica pode ser devido às diferenças entre as características dos moinhos, do desgaste devido ao uso e da potência dos motores que equipam os moinhos. Portanto, o controle do processo de moagem é importante na fábrica de rações.

### **1.8.2 Adição de umidade**

Tanto a água adicionada no misturador, como a água adicionada sob a forma de vapor durante o condicionamento, atuam como “cola” entre partículas do pelete. Essa capacidade aglutinante tem como base as propriedades de capilaridade e tensão superficial da água (FROETSCHNER, 2006).

Greer e Fairchild (2010) realizaram um experimento no qual foi observado que quando se variou a umidade na massa de ração farelada no misturador de 120 a 150 g/kg, houve correlação altamente positiva entre esse teor de umidade da ração com o PDI. Uma massa de ração com umidade de cerca de 140 g/kg, ajustado mediante adição de água no misturador, aperfeiçoou a operação da fábrica de ração e a durabilidade dos peletes (FAIRFIELD, 2003). Já Moritz et al. (2003) avaliaram o efeito do tratamento térmico (condicionamento-peletização) sobre rações contendo 927 e 853 g/kg de matéria seca e verificaram que os PDIs alcançados foram respectivamente de 56,5 e 82,2% ou seja, o efeito do maior teor de umidade é benéfico sobre a qualidade de peletes. Abdollahi et al. (2012) verificaram que a adição de 24 g/Kg de umidade na ração a base de trigo submetida sequencialmente a peletização à 60 °C melhorou o PDI das rações em 67 para 73%.

Por outro lado, a água que pode ser ou não adicionada ao processo, pode agir como substância lubrificante para reduzir o atrito entre a ração e parede dos

furos da matriz da prensa (ZIGGERS, 2003; FARENHOLZ, 2012); podendo assim impactar negativamente na durabilidade do pelete. Kulig e Laskowski (2008) observaram que o aumento na temperatura de condicionamento da ração de 64 para 90 °C, com a consequente agregação de umidade na forma de vapor, minimizaram o aquecimento da ração devido a ação lubrificante da umidade na matriz da prensa.

Se a adição de umidade for excessiva, a prensa peletizadora poderá perder a capacidade produtiva. O limite superior para o conteúdo de umidade na massa condicionada é de 175 g/kg (FROETSCHNER, 2006). A água dificulta a formação da camada de ração compactada na área de compressão entre o rolo e a matriz da prensa; o rolo deixa de acompanhar a rotação da matriz da prensa e perde a capacidade de empurrar a ração para dentro dos furos da matriz (SCHROIJEN, 2005).

### **1.8.3 Inclusão de gordura**

O nível de óleo e gorduras presente na dieta interfere no processo de peletização, podendo auxiliar no processo até um determinado nível e posteriormente prejudicando o processo e a qualidade do pelete final (MIRANDA, 2011).

A gordura lubrifica o contato da ração com a parede dos furos da matriz facilitando a passagem da ração pela matriz e diminuindo a compactação da ração dentro da prensa (FARENHOLZ, 2012). Além disso, a adição de gordura na ração previamente ao condicionamento leva a um encapsulamento parcial das partículas da ração dificultando a penetração do vapor e umidade e, portanto, reduzindo a gelatinização do amido e as forças capilares de adesão (LOWE, 2005; FARENHOLZ, 2012).

Segundo Leaver (2008), a adição de gordura deve ser limitada a um máximo de 5 a 10 g/kg na ração a ser peletizada se o objetivo for a produção de ração com alto percentual de peletes íntegros. Quando a dosagem de gordura for de 20g/kg junto ao misturador, previamente a peletização, haverá redução no percentual de peletes íntegros e o PDI em dietas a base de milho e farelo de soja. Moritz et al. (2002) avaliaram dois níveis de adição de óleo, 30 e 65 g/kg em rações para frangos

de corte e observaram que o PDI diminuiu de 82 para 62% com o aumento da gordura adicionada.

Portanto, o cuidado com a adição de gordura no processo de peletização é importante. Se a gordura estiver contida nas células da planta, então é relativamente melhor para a qualidade do pelete, do que misturas que possuem gordura na superfície (MURAMATSU, 2013).

#### **1.8.4 Processamento térmico**

O condicionamento é um dos fatores mais importantes para alcançar uma boa qualidade física da ração. O vapor utilizado durante o condicionamento rompe a estrutura do amido e causa sua gelatinização, assim como a alteração das estruturas terciárias das proteínas (NETTO, 2014). Existem duas formas de condicionamento no processo de peletização, como por exemplo, o condicionamento simples e o seguido de expansão.

Lundblad et al. (2009), verificaram o efeito do tratamento térmico por meio do condicionamento da ração a 82 °C por 20 segundos no qual foi comparado com o condicionamento nas mesmas condições anteriores seguida de expansão desta ração a temperatura média de 121 °C, sobre a qualidade de peletes em dietas a base de milho. Como resultados, o PDI das rações passou de 81,8 para 92,3%.

LÓPEZ et al. (2007), comparando os efeitos da forma física (farelada, granulada e expandida-granulada) sobre o desempenho de frangos de corte de um a 42 dias de idade, concluíram que o desempenho é melhorado com o aumento da intensidade do processamento térmico devido ao maior consumo e melhor aproveitamento da ração.

A peletização pode prejudicar o desempenho se a temperatura não for usada corretamente durante o condicionamento. Como por exemplo, o condicionamento de rações com temperaturas elevadas está associado ao pior desempenho de frangos de corte, em termos de ganho de peso e aumento da mortalidade. Sendo que, temperaturas de condicionamento maiores que 85 °C devem ser evitadas (CRESWELL; BEDFORD, 2006).

Samarasinghe et al. (2000) verificaram que as temperaturas de condicionamento de 90 °C reduziram a utilização da energia e utilização do

nitrogênio, e desempenho de frangos de corte. Em seu estudo, enquanto as aves consumiram 6% a mais de ração e ganharam 9% a mais peso quando a temperatura do condicionador foi aumentada de 60 a 75 °C, o fornecimento da ração condicionada a 90 °C resultou em menor consumo de ração e ganho de peso. Alta temperatura de condicionamento também reduziu energia metabolizável e utilização do nitrogênio de 3,2 e 4%, respectivamente.

### **1.9 Aplicação da modelagem matemática em processos industriais**

A análise de dados é um processo complexo que envolve retrocessos entre dados pouco concretos e conceitos abstratos, entre raciocínio indutivo e dedutivo, entre descrição e interpretação (TEIXEIRA, 2003). Segundo Gil (1993), a análise de dados tem como objetivo organizar e resumir os dados de tal forma que possibilitem o fornecimento de respostas ao problema proposto para investigação. Esta fase na pesquisa estabelece uma compreensão dos dados coletados, confirmar ou não os pressupostos da pesquisa e responder as questões formuladas, ampliando o conhecimento sobre o assunto pesquisado, articulando-o ao contexto cultural do qual faz parte (MINAYO, 1994).

A modelagem de um processo consiste na obtenção de um modelo matemático capaz de representar adequadamente as características de interesse de uma planta em estudo (MURAMATSU, 2013). O modelo de um sistema pode ser obtido de duas formas, a partir das equações básicas do sistema desenvolvidas usando princípios físico-químicos, ou a partir da análise estatística dos dados de entrada e saída do sistema em estudo (identificação de sistemas ou modelos empíricos) (SANTOS, 2003). Segundo Teixeira (2010), existe técnicas clássicas de identificação de sistemas, baseadas na introdução de distúrbio e consequente ajuste dos dados de resposta a partir de uma equação de predição.

Quando decidido um modelo matemático para o sistema em estudo é interessante a checagem da qualidade de predição desse modelo. A utilização deste modelo implica na checagem da equação de predição contra um conjunto independente de dados para verificar se esse modelo é capaz de predizê-lo (OREDEIN et al., 2011).

O controle preditivo baseado em modelo tem-se apresentado atualmente como uma das mais populares e eficientes estratégias de controle na indústria de processos (MURAMATSU, 2013). Devido aos aspectos fundamentais de um projeto de controle industrial prático podem ser explorados em um controle preditivo baseado em modelo, como a trajetória de referência futura, previsão de perturbações e a inclusão de restrições (SANTOS, 2003).

Portanto, a modelagem no processo de peletização é importante, pois estima os efeitos das características em estudo sobre diferentes variáveis de interesse na indústria utilizando regressão múltipla.

## 2 METODOLOGIA

Dados de produção, composição bromatológica dos ingredientes e fórmulas das dietas foram coletados em uma fábrica de ração para frangos de corte e suínos localizados no estado do Rio Grande do Sul. A fábrica de ração possui capacidade diária de produção de aproximadamente 1,1 mil toneladas de ração, sendo que no processo de fabricação são utilizadas quatro prensas peletizadoras, estas divididas por categoria de produção de origem animal ou origem vegetal. Os dados utilizados neste estudo foram obtidos na fábrica que produz ração com produtos de origem animal e que atende ao sistema de integração da empresa. Esta linha era composta por misturador com duplo-elicóide e injetor de óleo, lisina e metionina líquidos. A peletizadora possuía capacidade de processar 40 toneladas de ração/hora.

Informações do período de março a setembro de 2017 foram utilizadas para construir um banco de dados. Na planilha eletrônica, cada coluna representou uma variável descritiva do processo de fabricação (rendimento, amperagem, pressão no condicionador e temperaturas do ambiente, do condicionador e do resfriador), características da ração (inclusão dos ingredientes na fórmula da ração e composição bromatológica dos principais ingredientes) e dados de qualidade (percentual de finos e PDI). Cada linha da planilha representou uma observação, ou o equivalente a um lote de ração produzida (fabricação independente de uma fórmula específica em uma data específica).

A composição bromatológica dos ingredientes foi obtida através de análise laboratorial utilizando o método de infravermelho próximo (NIRS). É uma técnica analítica que correlaciona valores de referência obtidos através de métodos químicos de laboratório com espectros NIR da mesma amostra analisada através da técnica de refletância. Todas as amostras eram moídas e colocadas no coletor de amostra do equipamento (Foss, modelo DS2500F), no qual através do detector, ocorria a conversão de energia radiante em sinal elétrico. Por fim, pelo processador do sinal (medidor), a leitura ocorria para o sistema computacional. Para este trabalho, os dados de proteína bruta, matéria mineral, extrato etéreo, fibra bruta e matéria seca foram considerados para os grãos e farinhas utilizados nas dietas.

As inclusões dos ingredientes nas fórmulas também foram inseridas na planilha de dados. As fórmulas foram obtidas através do software Formula 2000. O método de formulação utilizado procurava atender as exigências nutricionais através

de fórmulas com mínimo-custo. As fórmulas eram atualizadas semanalmente com base nos custos locais dos ingredientes e seguiam os níveis nutricionais comumente utilizados para suínos e frangos de corte no Brasil.

Os dados de processamento e qualidade da peletização foram obtidos através de registros históricos do setor de garantia de qualidade da fábrica. Os dados de amperagem, temperatura, pressão e rendimento foram registrados automaticamente pelo equipamento de peletização.

Os valores de finos e PDI foram analisados sistematicamente após o processamento da ração. Para análise de PDI, uma amostra de 500 gramas representativa da ração fabricada foi adicionada em uma caixa rotativa a 50 rpm por 10 minutos. Em seguida, o percentual de peletes íntegros foi obtido após uso de peneira de 3 mm e considerado como o PDI. A proporção de finos foi obtida mediante peneiramento de uma amostra de 500 gramas de ração utilizando peneiras de furos redondos de 3 mm de diâmetro.

Três análises sequenciais foram realizadas no programa Minitab 17 (Minitab Inc., StateCollege, PA). A primeira etapa de análise foi realizada para controlar a qualidade da base e observar a coerência lógica dos dados. Análises gráficas e estatísticas descritivas (mínimo, médio e máximo) das variáveis foram utilizadas nesta etapa. Valores que excediam ao comportamento adequado dentro do sistema foram removidos da base de dados. Para isso, uma amplitude mínima e máxima foi estipulada em algumas variáveis (20 e 45 toneladas/hora para variável rendimento, 10 a 30% para finos, 390 e 650 A para amperagem, 70 a 84 °C para temperatura do condicionador, 7 a 40 °C para a temperatura de resfriamento, e 3 a 37 °C para a temperatura ambiente).

Em seguida, análises de correlação foram utilizadas para identificar a relação matemática entre as variáveis. Por último, análises de regressão obtidas com procedimento *step-wise* foram utilizadas para gerar os modelos de predição. Esse procedimento tem como objetivo realizar uma seleção variável, adicionando ou excluindo preditores do modelo existente com base no teste-F. Os resultados obtidos foram utilizados para compor um modelo que estima os efeitos de características do processo, da dieta e da composição bromatológica dos ingredientes sobre as variáveis de rendimento, proporção de finos e PDI. A interpretação dos dados foi feita com base no efeito de variáveis específicas e de

conjuntos de variáveis independentes, com o objetivo de identificar aquelas mais eficazes em provocar a resposta desejada.

### 3 RESULTADOS

A base de dados continha 1837 observações após a aplicação dos filtros. Cada observação correspondia a um lote de ração (procedimento de fabricação independente de uma fórmula específica). A caracterização dos parâmetros da base de dados é apresentada nas Tabelas 1, 2 e 3.

**Tabela 1** – Descrição das variáveis de produção consideradas na base de dados

Variáveis	Média	EP Média	Q1	Mediana	Q3
Rendimento, t/h	32,968	0,01	30,747	33,758	36,364
Proporção de finos, %	25,89	0,23	19,58	24,90	30,83
Índice de durabilidade do pelete, %	74,35	0,31	68,00	76,53	82,56
Amperagem, A	523,55	1,92	460,00	539,50	595,00
Temperatura do resfriador, °C	26,09	0,09	23,85	26,10	28,60
Temperatura ambiente, °C.	21,54	0,10	18,70	21,30	24,65
Temperatura do condicionador, °C	78,40	0,06	77,00	80,00	80,00

**Tabela 2** – Descrição das inclusões de ingredientes nas rações consideradas na base de dados

Variáveis	Média	EP Média	Q1	Mediana	Q3
Milho, kg/t	585,24	0,71	563,10	586,45	610,60
Farelo de soja 46%, kg/t	186,13	1,24	156,00	178,00	226,00
Farelo de soja semi-integral, kg/t	109,03	1,52	100,00	130,00	160,00
Farelo de arroz integral, kg/t	12,95	0,55	<0,01	<0,01	<0,01
Farinha de carne 45%, kg/t	44,30	0,19	37,00	45,00	50,00
Farinha de vísceras, kg/t	2,49	0,18	<0,01	<0,01	<0,01
Farinha de penas, kg/t	4,60	0,22	<0,01	<0,01	<0,01
L-treonina 98,5%, kg/t	0,94	<0,01	0,90	1,00	1,05
Calcário calcítico, kg/t	5,47	0,06	2,00	6,00	8,10
Sal comum, kg/t	2,21	0,01	1,70	1,90	2,30
Bicarbonato de sódio, kg/t	2,33	0,03	1,40	2,60	3,40
Óleo de soja, kg/t	31,85	0,21	28,00	34,00	38,00
Metionina líquida 88%, kg/t	3,32	0,02	3,10	3,80	4,01
Lisina líquida 64%, kg/t	4,12	0,02	3,70	4,40	5,00

**Tabela 3** – Descrição da composição bromatológica<sup>1</sup> dos macro-ingredientes considerados na base de dados.

Variáveis	Média	EP Média	Q1	Mediana	Q3
Proteína bruta do milho, %	7,97	0,00	7,80	8,02	8,16
Matéria mineral do milho, %	1,22	0,00	1,21	1,23	1,25
Extrato etéreo do milho, %	4,26	0,00	4,16	4,24	4,35
Fibra bruta do milho, %	2,05	0,00	2,03	2,06	2,09
Matéria seca do milho	86,37	0,00	86,17	86,36	86,61
Proteína bruta do farelo de soja	46,05	0,01	45,72	46,01	46,27
Matéria mineral do farelo de soja	6,04	0,00	5,95	6,02	6,15
Extrato etéreo do farelo de soja	2,14	0,00	1,85	2,16	2,34
Fibra bruta do farelo de soja	4,04	0,00	3,81	3,98	4,28
Matéria seca do farelo de soja	4,11	0,40	0,62	0,63	0,63
Proteína bruta do arroz	14,26	0,00	14,15	14,26	14,40
Matéria mineral do arroz	7,89	0,00	7,75	7,89	8,10
Extrato etéreo do arroz	19,76	0,01	19,25	19,71	20,31
Fibra bruta do arroz	5,907	0,00	5,54	5,88	6,27
Matéria seca do arroz	4,39	0,44	0,53	0,54	0,56
Proteína bruta da farinha de carne	48,09	0,03	47,32	47,92	48,96
Matéria mineral da farinha de carne	35,69	0,04	34,49	35,72	36,65
Extrato etéreo da farinha de carne	10,90	0,02	10,33	10,72	11,52
Matéria seca da farinha de carne	95,57	0,01	95,13	95,60	96,00
Proteína bruta da farinha de penas	80,30	0,11	77,21	79,49	84,26
Matéria mineral da farinha de penas	3,63	0,02	3,48	3,750	4,44
Extrato etéreo da farinha de penas	10,32	0,02	9,15	10,54	11,34
Matéria seca da farinha de penas	91,26	0,06	88,95	91,33	94,09
Proteína da farinha de vísceras	60,50	0,04	59,65	59,65	59,65
Matéria mineral da farinha de vísceras	14,16	0,02	13,95	13,95	13,95
Extrato etéreo da farinha de vísceras	17,80	0,03	17,52	17,52	17,52
Matéria seca da farinha de vísceras	95,42	0,00	95,25	95,25	95,25
Proteína bruta do farelo de soja semi-integral	39,90	0,01	39,42	39,97	40,36
Matéria mineral do farelo de soja semi-integral	5,40	0,00	5,34	5,42	5,49
Extrato etéreo do farelo de soja semi-integral	10,86	0,01	10,35	10,79	11,25
Fibra bruta do farelo de soja semi-integral	3,88	0,01	3,75	3,94	4,29
Matéria seca do farelo de soja semi-integral	90,10	0,06	88,26	88,73	93,93

<sup>1</sup> Valores expressos na matéria natural.

### **3.1 Modelagem aplicada ao índice de durabilidade do pelete**

O modelo para prever o PDI é apresentado na Tabela 4. A equação incluiu 21 fatores preditores, dos quais cinco não foram significativos ( $P > 0,05$ ; sendo: inclusão de farinha de vísceras e de lisina líquida, matéria mineral do milho e da farinha de penas e fibra bruta do farelo de soja semi-integral). Os fatores que mais contribuíram na explicação da variância do índice de durabilidade do pelete foram a amperagem do equipamento (fator que respondeu por 20% da variância total), a inclusão do óleo de soja na dieta (5%), além das temperaturas do condicionador (5%) e do resfriador (3%). A variável amperagem também apresentou a correlação ( $P < 0,05$ ) mais alta com o PDI ( $P < 0,05$ ). Quatro dos fatores preditores considerados no modelo não apresentaram correlação linear com o PDI da ração ( $P > 0,05$ ; sendo: inclusão do farelo de arroz integral, fibra bruta do farelo de soja, fibra bruta do farelo de soja semi-integral e proteína bruta da farinha de carne).

### **3.2 Modelagem aplicada a proporção de finos da ração**

O modelo para prever a proporção de finos da ração é apresentado na Tabela 5. A equação incluiu 21 fatores preditores, dos quais três não foram significativos ( $P > 0,05$ ; sendo: inclusão de sal comum, inclusão de lisina líquida 64% e fibra bruta do farelo de soja). Os fatores que mais contribuíram na explicação da variância da proporção de finos na ração foram a amperagem (29%), a temperatura do resfriador (3%), a inclusão de óleo de soja (3%) e matéria mineral da farinha de vísceras (3%). A amperagem apresentou novamente a correlação ( $P < 0,05$ ) mais alta com a variável resposta. A relação entre elas foi positiva. Por outro lado, variáveis como a temperatura ambiente e a inclusão do óleo de soja na dieta apresentaram correlação negativa. Dentre os fatores considerados no modelo, três variáveis não apresentaram correlação com a proporção de finos da ração ( $P < 0,05$ ; sendo: temperatura do condicionador, a inclusão de calcário calcítico e fibra bruta do farelo de soja).

### **3.3 Modelagem aplicada ao rendimento do processo de peletização**

O modelo para prever o rendimento do processo de peletização é apresentado na Tabela 6. A equação incluiu 17 fatores preditores, dos quais apenas

dois não foram significativos ( $P>0,05$ ; sendo: inclusão de farinha de carne 45% e bicarbonato de sódio). Os fatores que mais contribuíram na explicação da variância para rendimento foram temperatura do resfriador (4%) e inclusão de bicarbonato de sódio e de farinha de penas, (ambos com 3%). O fator que apresentou a maior correlação ( $P<0,05$ ) com a variável resposta foi a inclusão de óleo de soja na ração, sendo esta uma relação positiva para o rendimento. Cinco variáveis do modelo não foram correlacionadas com o rendimento quando analisadas individualmente ( $P>0,05$ ; sendo: temperatura ambiente, matéria seca do arroz e extrato etéreo das farinhas de carne, penas e vísceras).

### **3.4 Análise dos valores preditos**

A comparação entre os valores observados e preditos pelas três equações é apresentado na Figura 1. Observa-se que para as três variáveis dependentes, os pontos se aproximam da reta identidade, mostrando uma relação funcional com o modelo matemático escolhido. Contudo, ainda se observa falta de ajuste entre valores observados e preditos em algumas regiões dos gráficos, indicando a necessidade de mais estudos, possivelmente com a inclusão de outros fatores nos modelos.

**Tabela 4 – Modelo<sup>2</sup> para predizer o índice de durabilidade de pelete com base em características da peletizadora, da ração e dos ingredientes**

Termo	Equação		P	Variância (%) <sup>3</sup>	Correlação <sup>4</sup>
	Coefficiente	EP			
Constante	715,000	122,000	<0,001	-	-
Amperagem, A	0,072	0,003	<0,001	20,033	0,578
Temperatura do resfriador, °C	-0,919	0,107	<0,001	3,193	-0,347
Temperatura ambiente, °C	0,410	0,091	<0,001	0,884	-0,233
Temperatura do condicionador, °C	0,975	0,091	<0,001	4,987	0,142
Farelo de arroz integral, kg/t	0,033	0,010	0,001	0,480	-
Farinha de vísceras, kg/t	0,072	0,045	0,106	0,113	-0,065
Farinha de penas, kg/t	-0,073	0,029	0,013	0,269	-0,069
Óleo de soja, kg/t	-0,295	0,027	<0,001	5,128	-0,360
Lisina líquida 64%, kg/t	0,454	0,304	0,136	0,097	-0,153
Matéria mineral do milho, %	13,290	8,140	0,103	0,115	-0,124
Proteína bruta do farelo de soja, %	-3,708	0,880	<0,001	0,770	-0,278
Matéria mineral do farelo de soja, %	11,430	2,800	<0,001	0,723	-0,164
Extrato etéreo do farelo de soja, %	3,570	1,180	0,003	0,394	0,217
Fibra bruta do farelo de soja, %	-5,030	1,080	<0,001	0,942	-
Matéria seca do farelo de soja, %	0,082	0,017	<0,001	1,028	0,164
Proteína bruta da farinha de carne, %	-0,715	0,180	<0,001	0,685	-
Matéria mineral da farinha penas, %	-1,184	0,607	0,052	0,165	0,133
Extrato etéreo da farinha de penas, %	-1,310	0,320	<0,001	0,726	0,104
Proteína bruta da farinha de vísceras, %	0,674	0,296	0,023	0,225	-0,202
Matéria seca da farinha de vísceras, %	-6,480	1,290	<0,001	1,092	-0,244
Fibra bruta do farelo de soja semi-integral, %	-0,802	0,441	0,069	0,144	-

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2018.

<sup>2</sup> Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05).

<sup>3</sup> Coeficiente de determinação do modelo foi de 51,5%.

<sup>4</sup> Apenas correlações significativas (P<0,05) entre o fator preditor e o índice de durabilidade do pelete são apresentadas.

**Tabela 5** – Modelo<sup>5</sup> para prever a proporção de finos com base em características da peletizadora, da ração e dos ingredientes

Termo	Equação		P	Variância (%) <sup>6</sup>	Correlação <sup>7</sup>
	Coefficiente	EP			
Constante	119,700	20,900	<0,001	-	-
Amperagem, A	-0,064	0,002	<0,001	29,411	-0,595
Temperatura do resfriador, °C	0,647	0,079	<0,001	2,915	0,201
Temperatura ambiente, °C	-0,305	0,068	<0,001	0,872	0,330
Temperatura do condicionador, °C	-0,230	0,071	0,001	0,454	-
Farelo de arroz integral, kg/t	-0,048	0,010	<0,001	0,985	-0,080
Farinha de carne 45%, kg/t	0,059	0,029	0,039	0,185	-0,093
Farinha de vísceras, kg/t	0,198	0,044	<0,001	0,872	0,075
Calcário calcítico, kg/t	0,413	0,101	<0,001	0,726	-
Sal comum, kg/t	-0,868	0,549	0,114	0,109	0,115
Bicarbonato de sódio, kg/t	-0,979	0,314	0,002	0,423	-0,077
Óleo de soja, kg/t	0,314	0,039	<0,001	2,819	0,337
Lisina líquida 64%, kg/t	-0,415	0,265	0,117	0,107	0,177
Matéria mineral do milho, %	-20,010	6,600	0,002	0,400	0,129
Matéria mineral do farelo de soja, %	-6,150	1,980	0,002	0,421	0,123
Extrato etéreo do farelo de soja, %	-2,365	0,805	0,003	0,376	-0,162
Fibra bruta do farelo de soja, %	1,124	0,589	0,057	0,158	-
Matéria seca do arroz, %	-0,041	0,012	0,001	0,487	-0,142
Proteína bruta da farinha de carne, %	0,482	0,138	0,001	0,528	0,100
Extrato etéreo da farinha de carne, %	0,547	0,168	0,001	0,462	0,237
Matéria seca da farinha de penas, %	-0,458	0,097	<0,001	0,979	0,082
Matéria mineral da farinha de vísceras, %	0,946	0,236	<0,001	2,806	0,137

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2018.

<sup>5</sup> Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05).

<sup>6</sup> Decomposição da variância total. Coeficiente de determinação do modelo foi de 53,95%.

<sup>7</sup> Apenas correlações significativas (P<0,05) entre o fator preditor e a proporção de finos são apresentadas.

**Tabela 6 – Modelo<sup>10</sup>** para prever o rendimento de peletização (média/hora) com base em características da peletizadora, da ração e dos ingredientes

Termo	Equação		P	Variância (%) <sup>8</sup>	Correlação <sup>9</sup>
	Coefficiente	EP			
Constante	-21751	14351	0,130	4,727	-
Temperatura do resfriador, °C	535,900	56,300	<0,001	3,671	0,164
Temperatura ambiente, °C	-401,900	47,900	<0,001	0,968	-
Temperatura do condicionador, °C	214,400	49,800	<0,001	0,199	0,100
Farinha de carne 45%, kg/t	-31,700	16,300	0,051	0,491	-0,175
Farinha de penas, kg/t	45,400	14,800	0,002	2,082	-0,048
Calcário calcítico, kg/t	340,200	53,800	<0,001	0,147	0,081
Bicarbonato de sódio, kg/t	-181,000	108,000	0,094	2,392	-0,054
Óleo de soja, kg/t	111,400	16,400	<0,001	0,959	0,265
Lisina líquida 64%, kg/t	-667,000	155,000	<0,001	0,388	-0,059
Proteína bruta do milho, %	-1610,000	590,000	0,006	0,863	-0,094
Proteína bruta do arroz, %	2264,000	556,000	<0,001	0,346	0,104
Matéria seca do arroz, %	-23,140	8,980	0,010	1,250	-
Proteína bruta da farinha de carne, %	473,000	96,600	<0,001	0,490	0,090
Extrato etéreo da farinha de carne, %	-349,000	114,000	0,002	0,671	-
Extrato etéreo da farinha de penas, %	572,000	159,000	<0,001	0,345	-
Extrato etéreo da farinha de vísceras, %	241,500	93,900	0,010	0,634	-
Matéria seca do farelo de soja semi-integral, %	-195,200	56,000	0,001	0,704	-0,057

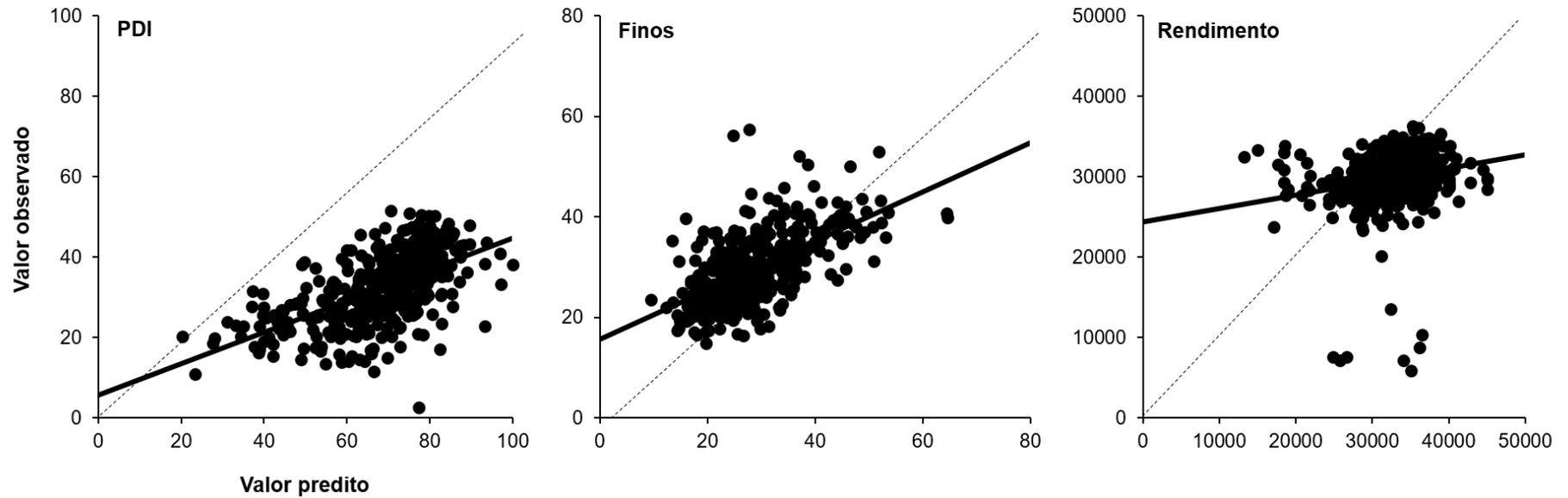
**Fonte:** Elaborada pela autora, 2018.

<sup>8</sup> Coeficiente de determinação do modelo foi de 23,1%.

<sup>9</sup> Apenas correlações significativas (P<0,05) entre o fator preditor e o rendimento são apresentadas.

<sup>10</sup> Matriz da peletizadora foi considerada como efeito fixo (P<0,05).

**Figura 1** – Relação entre valores preditos e do observados para índice de durabilidade do pelete, proporção de finos (%) e rendimento de peletização (t/h)



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Índice de durabilidade do pelete

A qualidade do pelete é uma característica essencial no processo de fabricação de ração. O PDI pode diminuir gradativamente desde a fábrica de ração, transporte no caminhão, até a condução nas linhas de rações para chegar ao comedouro dos frangos de corte ou suínos. A diminuição da qualidade de pelete pode ter consequências negativas na eficiência de produção dos animais (ANTICO, 2015). Neste contexto, monitorar a qualidade dos peletes e os fatores que podem contribuir no processo de peletização é fundamental nas fábricas de ração.

Neste estudo, observamos que o fator mais determinante para variável PDI foi a amperagem. Este é um fator muito importante nas indústrias, pois está relacionado a produtividade do sistema e aos gastos de energia elétrica. A influência da amperagem sobre a qualidade do pelete pode ser explicada pelo aumento de vapor no condicionador, atuando como efeito lubrificante e reduzindo a força de atrito gerada na matriz peletizadora, o que melhora a produtividade do processo (SMALLMAN, 1996).

A inclusão de óleo de soja na dieta também foi um fator significativo para explicar o PDI. A inclusão de altos teores de gordura (acima de 6%) nas fórmulas de ração pode inferir negativamente na qualidade dos peletes, resultando em peletes mais frágeis (MORITZ et al, 2003; FAHRENHOLZ, 2012). Isso acontece por que a gordura lubrifica a parede dos furos da matriz, facilitando a passagem da ração pela matriz peletizadora e diminuindo a compactação da mistura dentro da prensa.

Aumentar a temperatura de condicionamento também é uma estratégia interessante quando o objetivo é aumentar a qualidade do pelete. Estudos anteriores mostraram que o aumento de temperatura de condicionamento de 75 a 90°C resulta em melhora no PDI tanto em dietas a base de milho quanto de sorgo (ABDOLLAHI et al., 2010). Isso acontece porque com o aumento de temperatura e a adição de vapor durante o condicionamento elevam a temperatura da massa, aumentando a capacidade aglutinante entre as partículas e conferindo maior aderência entre os componentes dos peletes (FROETSCHNER, 2006).

A temperatura do resfriador deve estar adequada para retirar a umidade adicional da ração, pois nesta etapa as condições são favoráveis para o

desenvolvimento de microrganismos, já que os peletes entram quentes e com alto teor de umidade nesta última etapa (NECKEL, 2016). A temperatura dos peletes nesta etapa não deve exceder a temperatura ambiente em mais de 10 °C. Se isso acontecer, a ração deve permanecer mais tempo no resfriador até atingir a temperatura adequada. Do contrário, ocorrerá redução da durabilidade do pelete, ou seja, quebras e perdas no processo final (KLEIN, 2009). Esta dinâmica produtiva pode explicar a inclusão da temperatura ambiente nos modelos de parametrização descritos neste estudo.

#### **4.2 Proporção de finos**

Se a quantidade de partículas desagregadas (proporção de finos) for elevada, os benefícios da peletização praticamente desaparecem em comparação as rações fareladas. Este fator tem uma grande influência no desempenho animal e na relação custo benefício da utilização das rações peletizadas (NETTO, 2014). A amperagem, a temperatura de resfriamento, a inclusão do óleo de soja na fórmula da ração também foram fatores significativos que interferiram na qualidade de peletes em relação à quantidade de finos. A presença desses três fatores no modelo está relacionada aos mesmos motivos citados anteriormente na discussão dos parâmetros do PDI, já que esta variável é inversamente proporcional à quantidade de finos da ração produzida.

A origem, o tipo de processamento e a qualidade das matérias-primas utilizadas na fábrica da ração, especialmente das farinhas de origem animal, são fatores que influenciam no processo de peletização e, conseqüentemente, na qualidade dos peletes. Neste contexto, a matéria mineral da farinha de vísceras foi um fator significativo para a parametrização da proporção de finos neste estudo. A especificação de qualidade de farinha de vísceras para matéria mineral é de no máximo 13% (BUTOLO, 2002), valor inferior ao conteúdo mineral médio encontrado nas farinhas utilizadas durante este estudo. Elevadas concentrações de matéria mineral nas farinhas de vísceras causam efeito negativo na concentração de proteína e de energia no ingrediente (DALE, 1997), o que poderia influenciar o conteúdo nutricional da dieta e também o processo de peletização. Assim, deve-se ter atenção quanto à inclusão de farinha de vísceras na dieta, para que a mesma não prejudique a qualidade de peletes e o desempenho das aves e suínos.

### **4.3 Rendimento de peletização**

A peletização pode influenciar o rendimento da fábrica de rações, principalmente se esta não for bem planejada e dimensionada, e trabalhar em uma margem de produção acima de sua capacidade. Adequar as etapas dos processos de peletização corretamente é necessário, uma vez que isso pode diminuir a produção.

A temperatura de resfriamento é um dos fatores que mais afeta o rendimento do processo de peletização. Todo o sistema de resfriamento deve estar dimensionado de acordo com o material a ser processado e com as condições de produção (temperatura ambiente, por exemplo). É necessário ter uma vazão de ar adequada passando através do resfriador para que a saída dos peletes ocorra com temperatura e umidade adequadas. O tempo de retenção no resfriador também precisa ser adequado para que o ar resfrie e seque o suficiente, resultando na perda de peso do pelete e diminuindo rendimento do processamento final (RAIZER, 2014).

A inclusão de ingredientes nas fórmulas das rações também pode afetar o rendimento do processo. Neste estudo, a inclusão de farinha de penas e de bicarbonato de sódio foram os fatores listados no modelo com maior impacto sobre a variável resposta. Contudo, a relação entre estes componentes da ração com a qualidade dos peletes e o rendimento da peletização ainda precisa ser melhor compreendida e poderia ser alvo de investigação em projetos de pesquisa futuros.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados evidenciam que o processo de peletização exige um monitoramento constante na fábrica de ração sobre os parâmetros de qualidade (PDI, finos e rendimento) em função dos dados de produção, composição bromatológica e inclusão de ingredientes nas dietas para frangos de corte e suínos. Este estudo gerou modelos matemáticos que identificam os principais fatores influentes e quantificam o efeito destes fatores sobre a peletização.

Por serem baseados em dados coletados em ambiente industrial, os modelos apresentados nesse trabalho são úteis nos setores de garantia de qualidade das fábricas de ração, permitindo a melhor definição de parâmetros para monitoramento e também podem ser úteis como facilitadores nas tomadas de decisão. A busca por um equilíbrio entre a qualidade de pelete e o rendimento industrial podem ser beneficiados por projetos de pesquisa como este, o que pode aumentar a viabilidade econômica da produção e a capacidade produtiva das indústrias de aves e suínos.

O trabalho do nutricionista na fábrica de ração também pode ser beneficiado pela disponibilidade de dados concretos nesta área do conhecimento. O desenvolvimento de mais estudos nesta temática, com a inclusão de cenários de produção ainda mais amplos, pode favorecer o ajuste dos modelos matemáticos. Neste cenário, a qualidade dos peletes poderá ser acuradamente estimada antes mesmo de a ração ser produzida, o que certamente beneficiará todo o processo de produção das rações.

## REFERÊNCIAS

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of conditioning temperature on the performance, nutrient utilisation and digestive tract development of broilers fed on maize - and wheat-based diets. **British Poultry Science**, v. 51, n. 5, p. 648-657, 2010.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRAN, G.; THOMAS, D. V. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. **Animal Feed Science and Technology**, v. 168, p. 88-99, 2011.

ABDOLLAHI, M. R. et al. Effect of improved pellet quality from the addition of a pellet binder and/or moisture to a wheat-based diet conditioned at two different temperatures on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 175, n. 3-4, p. 150-157, Agosto, 2012.

ADVANTECH MANUFACTURING, INC. **Test Sieving: Principles and Procedures**. 2001. Disponível em <[http://www.advantechmfg.com/pdf/principles\\_procedures\\_manual\\_with\\_tables-2.pdf](http://www.advantechmfg.com/pdf/principles_procedures_manual_with_tables-2.pdf)>. Acesso em: 22 dez. 2017.

ARAÚJO, W. M. C.; MONTEBELLO, N. P.; BOTELHO, R. B. A.; BORGIO, L. A. **Alquimia dos alimentos**. Brasília: Editora Senac, 2009.

ASAE (1997) ASAE S269.4, Cubes, pellets and crumbles: Definitions and methods for determining density, durability and moisture. Standards 1997. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, MI.

ATINCO, L. P. **Qualidade de pelete em dietas para leitões em fase de creche**. 2015. 57 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Zootecnia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

BELLAVER, C.; NONES, K. A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. Em: Simpósio Goiano de Avicultura, 4, 2000. Goiânia-GO, p. 59-78.

BRIÃO, V. B.; FOLLMER, L.; SOUZA, M.; RODRIGUES, V. M. Cinética do escurecimento não-enzimático com soluções modelo de açúcares e aminoácidos em pH neutro e ácido. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, p. 87-93, 2011.

BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2002.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in food during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 29, p. 35-57, 1990.

CAVALCANTI, W. B.; BEHNKE, K. C. Effect of Composition of Feed Model Systems on Pellet Quality: A Mixture Experimental Approach. II. **Cereal Chemistry Journal.**, v. 82, n. 4, p. 462–467, 2005.

COLOVIC, R.; VUKMIROVIC, D.; MATULAITIS, R.; BLIZNIKAS, S.; UCHOCKIS, V.; JUSKIENE, V.; LEVIC., J. Effect of die channel press way length on physical quality of pelleted cattle feed. **Journal of Institute for Food Technology**, v. 37, p.1-6, 2010.

CRESWELL, D.; BEDFORD, M. High pelleting temperatures reduce broiler performance. **Australian Poultry Science Symposium.**, 2006.

CUTLIP, S. E.; HOTT, J. M.; BUCHANAN, N. P.; RACK, A. L.; LATSHAW, J. D.; MORITZ, J. S. The effect of steam-conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. **Journal Applied of Poultry Research**, v. 17, p. 249-261, 2008.

DALE, N. Metabolized energy of meat and bone meal. **Journal of Applied Poultry Research**, Copenhagen, v. 6, 169-173, 1997.

DOZIER, W. A. Pelet de calidad para obtener carne de ave más economica. **Alim. Balanc. Anim.**, v. 8, p.16-19, 2001.

DURAN, D. Vantagens da peletização de rações na nutrição de suínos. **Suinocultura Industrial**, São Paulo, 24 maio 2017.

ENGBERG, R. M. et al. The influence of grinding and pelleting of feed on the microbial composition and activity in the digestive tract of broiler chickens. **British Poultry Science**, Sep, v. 43, n. 4, p. 569-79, 2002.

FAHRENHOLZ, A. C. **Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability.** 104 f. Tese - Kansas Universty. Department of Grain Science and Industry, Manhattan, Kansas, 2012.

FAIRFIELD, D. A. **Pelleting for Profit** - Feed and Feeding Digest. **National Grain and Feed Association** Part 1. v. 54, n. 6, November, 2003.

FALK, D. **Feed Manufacturing Technology III.** Arlington: AFIA, 1985.

FREITAS, E. R.; SAKOMURA, N. K.; DAHLKE, F.; SANTOS, F. R.; BARBOSA, N. A. A. Desempenho, eficiência de utilização dos nutrientes e estrutura do trato digestório de pintos de corte alimentados na fase pré-inicial com rações de diferentes formas físicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 1, p. 73-78, 2008.

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

GILL, C. Chemistry for high quality pellets. Or, refining the role of binders. **Feed International.** March, p.10-11, 1993.

GREER, D.; FAIRCHILD, F. **Cold mash moisture control boosts pellet quality**. Disponível em: <<http://www.agricheminc.com/pdfs/cold%20mash.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2017.

SINDIRAÇÕES. Anuário Brasileiro do Milho. 2016. Disponível em: <[http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2017/08/zani\\_anuario-milho-2017.pdf](http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2017/08/zani_anuario-milho-2017.pdf)>. Acesso em: 22 dez. 2017.

INTERNATIONAL FEED INDUSTRY FEDERATION – IFIF. **Global feed statistics**. Disponível em: <[http://www.ifif.org/global\\_stats1.php](http://www.ifif.org/global_stats1.php)>. Acesso em: 22 dez. 2017.

KLEIN, A. A. Pontos críticos do controle de qualidade em fábricas de ração – uma abordagem prática. **Simpósio Internacional ACAV – EMBRAPA sobre Nutrição de Aves**, 1, (EMBRAPA - CNPSA. Documentos, 56). p. 1-19. 2009.

KULIG, R.; LASKOWSKI, J. Effect of conditioning parameters on pellet temperature and energy consumption in the process of plant material pressing. **TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.** – OL PAN, 8a, p. 105–111. 2008.

LARA, L. J. C.; BAIÃO, N. C.; ROCHA, J. S. R.; LANA, A. M. Q.; CANÇADO, S. V.; FONTES, D. O.; LEITE, R. S. Influência da forma física da ração e da linhagem sobre o desempenho e rendimento de cortes de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 4, p. 970-978, 2008.

LARA, M. A. M. **Processo de produção de ração – Moagem, mistura e peletização**. Disponível em: <<http://nftalliance.com.br/assets/Uploads/Artigo-Unifrango-2.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2017.

LAURISTON, R. **Gelatinization Temperatures for Adjuncts**. Postado para HBD #2092, 7/9/96, porrobtrisch@mindlink.bc.ca. 1996.

LEAVER, R. H. **The pelleting process**. Andritz Sprout, 2008. Disponível em: <<http://www.andritzsproutbauer.com/pdf/The-Pelleting-Process-v2008.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2017.

LIMA, R. R. Forma física, suplementação enzimática e nível nutricional de rações para frangos de corte na fase inicial: desempenho e digestibilidade dos nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1272-1279, 2010.

LÓPEZ, C. A. A.; BAIÃO, N. C.; LARA, L. J. C.; RODRIGUEZ, N. M.; CANÇADO, S. V. Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, p. 1006-1013, 2007.

LOWE, R. Judging pellet stability as part of pellet quality. **Feed Tech**, v. 9, n. 2, 2005.

LUND, D.; LORENZ, K. J. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 20, p. 249-273, 1984.

LUNDBLAD, K. K.; HANCOCK, J. D.; BEHNKE, K. C.; PRESTLOKKEN, E.; MCKINNEY, L.J.; SORENSEN, M. The effect of adding water into the mixer on pelleting efficiency and pellet quality in diets for finishing pigs without and with use of an expander. **Animal Feed Science and Technology**, v. 150, p. 295–302, 2009.

MAIORKA, A. **Efeito da forma física, níveis de energia em dietas formuladas com base em aminoácidos totais e digestíveis no desempenho e composição de carcaça de frangos de corte, machos, dos 21 aos 42 dias de idade.** 1998. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

MEINERZ, C.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ JR., A. M.; KESSLER, A. M. Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 2026-2032, 2001.

MINA-BOAC, J.; MAGHIRANG, R. G.; CASADA, M. E. Durability and Breakage of Feed Pellets during Repeated Elevator Handling. **ASABE Annual International Meeting**. ASABE. Portland, Oregon. 2006.

MINAYO, M. C. S. et al. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade.** Petrópolis: Vozes, 1994.

MIRANDA, D. J. A. **Efeito da granulometria do milho e do valor de energia metabolizável em rações peletizadas para frango de corte.** 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MOREIRA, I.; ROSTAGNO, H. S.; SILVA, M. A.; TAFURI, M. L. Uso de ração farelada ou peletizada quando se utiliza milho pré-cozido na alimentação de leitões. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 1, p.100-107, 1995.

MORITZ, J.S.; WILSON, K.J.; CRAMER, K.R.; BEYER, R.S.; MCKINNEY, L.J.; CAVALCANTI, B.; MO, X. Effect of formulation density, moisture, and surfactant on feed manufacturing, pellet quality, and broiler performance. **Journal Applied of Poultry Research**. v.11, p.155–163, 2002.

MORITZ, J. S., CRAMER, K. R., WILSON, K. J., BEYER, R. S. **Feed Manufacture and Feeding of Rations with Graded Levels of Added Moisture Formulated to Different Energy Densities.** J. Appl. Poult. Res. 12:371–381. 2003

MURAMATSU, K. **Aplicação de modelagem preditiva no processo de peletização de rações para frangos de corte.** Programa de pós-graduação em Ciências Veterinárias. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2013.

NECKEL, K. J. P. **Influência do condicionamento no processo de peletização sobre a qualidade física da dieta para frangos de corte.** 2016. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

NETTO, M. V. T. **Temperatura de condicionamento no processo de peletização de dietas para frangos de corte**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinária) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

NILIPOUR, A. Produciendo pelets de calidad. **Indústria Avícola**, v. 41, p. 28-30, 1994.

NOBLE, S. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: III. Feed form affects broiler performance by modifying behavior patterns. **Poultry Science**, Champaign, v. 84, p. 403-411, 2005.

OREDEIN, A. I.; OLATAYO, T. O.; LOYINMI, A. C. On Validating Regression Models with Bootstraps and Data Splitting Techniques. **Global Journal of Science Frontier Research**, v. 11, n. 6, 2011. Disponível em: <[https://globaljournals.org/GJSFR\\_Volume11/1-On-Validating-Regression-Models-with-Bootstraps.pdf](https://globaljournals.org/GJSFR_Volume11/1-On-Validating-Regression-Models-with-Bootstraps.pdf)>. Acesso em: 22 dez. 2017.

POZZA, P. C.; POZZA, M. S. S.; RICHART, S. et al. Avaliação da moagem e granulometria do milho e consumo de energia no processamento em moinhos de martelos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 235-238, 2005.

PUCCI, L. E. A.; RODRIGUES, P. B.; BERTECHINI, A. G.; NASCIMENTO, G. A. J.; LIMA, R. R.; SILVA, L. R. Forma física, suplementação enzimática e nível nutricional de rações para frangos de corte na fase inicial: desempenho e digestibilidade dos nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1272-1279, 2010.

RAIZER, F. A importância do processo de resfriamento de pellets. **Suinocultura Industrial**, São Paulo, 26 maio 2014.

REIMER, L. L.; BEGGS, W.A. Making better pellets: Harnessing steam quality. **Feed Management**, v. 44, n. 1, p. 22-26, 1993.

ROBINSON, R. Pelleting-Introduction and general definitions, H. B. Pfof, Ed., **Feed Manufacturing Technology**, American Feed Manufacturers Association, Arlington, p. 103-110, 1976.

SAMARASINGHE, K.; MESSIKOMMER, R.; WENK, C. Activity of supplemental enzymes and their effect on nutrient utilisation and growth performance of growing chickens as affected by pelleting temperature. **Arch Tierernahr**, v. 53, p. 45-58, 2000.

SANTOS, J.E. **Controle preditivo não-linear para sistemas de Hammerstein**. Florianópolis. 2003. Disponível em <[http://www.das.ufsc.br/~santos/Qualify/Qualify\\_JESS.pdf](http://www.das.ufsc.br/~santos/Qualify/Qualify_JESS.pdf)> Acesso em: 22 dez. 2017.

SCHOROIJEN, H. Correct conditioning assures proficient pelleting. **Feed Tech** Volume 9, Number 5. 2005

SCOTT, T. A.; SWIFT, M. L.; BEDFORD, M. R. The influence of feed milling, enzyme supplementation, and nutrient regimen on broiler chick performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v. 6, p. 391-398, 1997.

SILVA, C. A. da; PINHEIRO, J. W.; FONSECA, N. A. N.; CABRERA, L.; NOVO, V. C. C.; SILVA, M. A. A. da; CANTERI, R. C.; HOSHI, E. H. Sunflower meal as feed to swine during the growing and finishing phase: digestibility, performance and carcass quality. **Rev. Bras. Zootec.**, v. 31, n. 2, p. 982-990, 2002.

SKOCH, E.; BEHNKE, R. K.; DEVOE, C.; BINDER, C. W. S. F. The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. **Animal Feed Science Technology**, v. 6, p. 83, 1981.

SMALLMAN, C. Maximising conditioning potential. **Feed Milling International**, v. 190, n. 11, p. 15-16, 1996.

SVIHUS, B.; UHLEN, A.K.; HARSTAD, O.M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 122, p. 303-320, 2005.

TEIXEIRA, E. B. A análise de dados na pesquisa científica: importância e desafios em estudos organizacionais. **Desenvolvimento em Questão**, v. 1, n. 2, p. 177-201, 2003.

TEIXEIRA, G. M. **Aplicação de equações diferenciais fracionárias ao controle de colunas de absorção**. 2010. 124 f. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

THOMAS, M.; HUIJNEN, P. T. H. J.; VAN VLIET, T.; VAN ZUILICHEM, D.; VAN DER POEL, A. F. B. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 79, p. 1481-1494. 1999.

THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pellet animal feed. 1.Criteria for pellet quality. In: Physical quality of pellet animal feed: a feed model study. **Wageningen: Agricultural University**, p. 19-46, 1998.

THOMAS, M.; VAN VLIET, T. J.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pelleted animal feed. 3. contribution of feedstuffs components. **Animal Feed Science Technology**, v.70. p. 59-78, 1998.

WELLIN, F. Pelleting equipment operations. In: PFOST, H. B. (Ed.). **Feed Manufacturing Technology**, Arlington: AFIA, 1976.

WONDRA, K J. et al. Effects of particle and pelleting on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 757-763, 1995.

ZALENKA, J. Effect of pelleting on digestibility and metabolizable energy of poultry diets. In: uropean symposium on poultry nutrition, Lillehammer. Proceedings... Lillehammer: **World's Poultry Science Association**, p.127-128, 2003.

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

ZIGGERS, D. Die determines the pellet production. **Feed Tech**, v. 7, n. 8, 2003.

ZIMONJA, O.; HETLAND, H.; LAZAREVIC, N.; EDVARDBSEN, D.H.; SVIHUS, B. Effects of fibre content in pelleted wheat and oat diets on technical pellet quality and nutritional value for broiler chickens. **Canadian Journal of Animal Science**, p.613-622, 2008.

ZIMONJA, O.; SVIHUS, B. Effects of processing of wheat or oats starch on physical pellet quality and nutritional value for broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 149, p. 287-297, 2009.

ZUNIGA, R.; PEREZ, E. Measuring physical quality of pellets and extrudates: a material science approach. **CIEN Austral (Center for Nutritional Research)**. Puerto Montt, Chile. Disponível em: < [http://www.cienaustral.cl/wp-content/uploads/2011/11/rzuniga\\_vicam1.pdf](http://www.cienaustral.cl/wp-content/uploads/2011/11/rzuniga_vicam1.pdf)>. Acesso em: 23 dez. 2017.