



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

GABRIEL HENRIQUE CÉSAR SAMPAIO

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE BRANQUEAMENTO DE SEBO BOVINO EM
PROCESSO DE MANUFATURA DE SABONETE EM BARRA**

Recife

2025

GABRIEL HENRIQUE CÉSAR SAMPAIO

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE BRANQUEAMENTO DE SEBO BOVINO EM
PROCESSO DE MANUFATURA DE SABONETE EM BARRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Química da
Universidade Federal de Pernambuco, Centro
de tecnologia e geociência, como requisito
parcial para a obtenção do título de Bacharelado
em Engenharia Química.

Orientadora: Daniella Carla Napoleão
Coorientadora: Grazielle Elisandra do Nascimento

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Sampaio, Gabriel Henrique César.

Otimização do processo de branqueamento de sebo bovino em
processo de manufatura de sabonete em barra / Gabriel Henrique César
Sampaio. - Recife, 2025.

47

Orientador(a): Daniella Carla Napoleão

Cooorientador(a): Grazielle Elisandra do Nascimento

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal
de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia
Química - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Branqueamento. 2. Otimização de Processos. 3. Produtividade. I.
Napoleão, Daniella Carla. (Orientação). II. Nascimento, Grazielle
Elisandra do. (Coorientação). IV. Título.

660 CDD (22.ed.)

GABRIEL HENRIQUE CÉSAR SAMPAIO

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE BRANQUEAMENTO DE SEBO BOVINO EM
PROCESSO DE MANUFATURA DE SABONETE EM BARRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Química da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharelado em Engenharia Química.

Aprovado em: 17/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Daniella Carla Napoleão (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Mayara Ferreira Barbosa (Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco

Ms. Marina Gomes Silva (Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho a meu avô, Jaime César, que
carrego no meu coração e memória, pois as
pessoas só morrem quando são esquecidas.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a minha jornada durante a minha graduação. Primeiramente, quero agradecer aos meus pais, Malba César e Silvio Sampaio, por formarem meu caráter e representarem tudo que eu sou hoje, tenho muita sorte de ser filho de vocês, e agradeço a Deus todos os dias por esse privilégio.

À minha namorada, Maria Giuliana, por me apoiar incondicionalmente todos os dias, sou imensamente feliz por ter você na minha vida.

Ao meu primeiro mentor e referência profissional, Humberto Aguiar, por compartilhar comigo seu conhecimento. Me espelho em você como futuro engenheiro químico.

Aos meus amigos do DEQ, especialmente a Aline Lira, Gabriel Ourem, Graziella Leite e Thiago Antonio, por tornarem a jornada mais rica e leve.

À minha supervisora de estágio, coorientadora e amiga, Grazielle Nascimento, é uma honra dividir a rotina com você, uma pessoa e profissional incrível que me inspira diariamente.

E, por fim, à minha orientadora, Daniella Napoleão, cujos conhecimentos foram fundamentais para minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

Este estudo teve como foco a otimização do processo de branqueamento de sebo bovino, buscando aprimorar a eficiência operacional dessa etapa para a manufatura de sabonetes em barra. A metodologia adotada incluiu o Planejamento de Experimentos, utilizando a Análise de Variância (ANOVA) e ferramentas gráficas como a carta de Pareto, além da realização de testes em processo em diferentes ciclos de bateladas. O estudo identificou que a quantidade de argila é o fator de maior significância na redução da cor do sebo, enquanto o tempo de contato não demonstrou influência significativa na faixa avaliada. A fase de testes em processo revelou e validou o “*press effect*”, um fenômeno de adsorção adicional que ocorre na torta de argila formada no filtro de placas, capaz de otimizar o branqueamento para além da mistura inicial. Com base nessas descobertas, demonstrou-se que o *press effect* é eficaz no processo de estabilização da cor final do sebo em ciclos estendidos e com menor quantidade de argila nas bateladas subsequentes. A partir disso, avaliou-se a condição atual de processo com 8 bateladas e, vislumbrando a oportunidade, realizaram-se testes em um ciclo de 12 bateladas, associado ao limite de distribuição de argila por ciclo. As amostras misturadas dos ciclos de 8 e 12 bateladas apresentaram, respectivamente, reduções de 72,15% e 74,68% para a cor amarela, e 82,08% e 83,15% para a cor vermelha, evidenciando a manutenção da qualidade do sebo bovino. Diante dos resultados, que confirmaram a viabilidade do tempo de contato mínimo e a eficácia do *press effect* em ciclos mais longos, e considerando a otimização conquistada, a operação foi padronizada para 12 bateladas, o que apresenta ganhos potenciais significativos. Tais ganhos incluíram o aumento da produtividade pela redução de paradas para limpeza do filtro, a menor utilização de argila branqueadora e de perlita por quilo de sebo branqueado, e a consequente diminuição da geração de resíduos, promovendo um processo mais sustentável. Dessa forma, o estudo reforça a importância da aplicação sistemática de metodologias estatísticas de otimização para a melhoria contínua dos processos industriais, garantindo maior eficiência operacional.

Palavras-chave: Branqueamento; Otimização de Processos; Produtividade.

ABSTRACT

This study focused on optimizing the bovine tallow bleaching process, aiming to enhance the operational efficiency of this step for bar soap manufacturing. The methodology adopted included Design of Experiments, utilizing Analysis of Variance (ANOVA) and graphical tools such as the Pareto chart, in addition to conducting in-process tests across different batch cycles. The study identified that the amount of clay is the most significant factor in reducing tallow color, while contact time showed no significant influence within the evaluated range. The in-process testing phase revealed and validated the "press effect," a phenomenon of additional adsorption that occurs in the clay cake formed in the plate filter, capable of optimizing bleaching beyond the initial mixture. Based on these discoveries, it was demonstrated that the press effect is effective in stabilizing the final tallow color in extended cycles and with a lower amount of clay in subsequent batches. Following this, the current process condition with 8 batches was evaluated, and, foreseeing an opportunity, tests were conducted in a 12-batch cycle, associated with the limit of clay distribution per cycle. The mixed samples from the 8 and 12-batch cycles showed reductions of 72.15% and 74.68% for yellow color, and 82.08% and 83.15% for red color, respectively, evidencing the maintenance of bovine tallow quality. Given the results, which confirmed the viability of the minimum contact time and the effectiveness of the press effect in longer cycles, and considering the optimization achieved, the operation was standardized for 12 batches, which presents significant potential gains. Such gains included increased productivity by reducing filter cleaning downtime, lower consumption of bleaching clay and perlite per kilogram of bleached tallow, and the consequent reduction in waste generation, promoting a more sustainable process. Thus, the study reinforces the importance of the systematic application of statistical optimization methodologies for the continuous improvement of industrial processes, ensuring greater operational efficiency.

Keywords: Bleaching; Process Optimization; Productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Fluxograma do processo de fabricação de sabonete em barra	15
Figura 2 –	Representação da molécula de triglicerídeos	16
Figura 3 –	Exemplo de uma micrografia estrutural da perlita expandida	18
Figura 4 –	Fluxograma do processo de branqueamento de gordura em bateladas	19
Figura 5 –	Sistema em laboratório para branqueamento de gordura a vácuo	26
Figura 6 –	Indicação de pontos de coleta para teste em processo	28
Figura 7 –	Cartas de Pareto dos efeitos padronizados obtidos a partir de um planejamento do tipo DCCR para as respostas de: a) Redução de cor amarela e b) Redução de cor vermelha	32
Figura 8 –	Gráfico que representa aumento de redução percentual de: a) cor Amarela e b) cor vermelha do sebo bovino antes e após o filtro vertical de placas para um ciclo de 5 bateladas	36
Figura 9 –	Amostras de sebo bovino antes e após o filtro na batelada 3 (tempo mínimo)	37
Figura 10 –	Gráfico que representa o aumento de redução percentual de: a) cor amarela e b) cor vermelha do sebo bovino antes e após o filtro vertical de placas para um ciclo de 8 bateladas	38
Figura 11 –	Gráfico que representa o aumento de redução percentual de: a) cor amarela e b) cor vermelha do sebo bovino antes e após o filtro vertical de placas para um ciclo de 12 bateladas	39
Figura 12 –	Aspecto visual da cor final do sebo bovino (mistura dos ciclos de 8 e 12 bateladas)	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Matriz codificada do DCCR	22
Tabela 2 –	Matriz do planejamento do tipo DCCR	27
Tabela 3 –	Resultados de redução das cores amarela e vermelha por meio do planejamento fatorial DCCR, onde A é Temperatura (°C), B é Tempo de Contato (min) e C é Quantidade de Argila (%m/m)	30
Tabela 4 –	Coeficientes codificados do planejamento de experimentos gerados com auxílio do Minitab	31
Tabela 5 –	Valores de redução percentual de cor (amarela e vermelha) do sebo bovino, após mistura no tanque branqueador, a partir de variação de tempo de contato	35

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	ASPECTOS HISTÓRICOS DO DESENVOLVIMENTO DO SABÃO	14
2.2	BRANQUEAMENTO DE GORDURA	16
2.3	CICLO PRODUTIVO DO BRANQUEAMENTO	17
2.4	ANÁLISE DE PARÂMETROS DO PROCESSO	20
2.5	PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS	21
2.6	ANÁLISE DE VARIÂNCIA	23
2.7	CARTA DE PARETO	24
3.	METODOLOGIA	25
3.1	ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL	25
3.2	CONJUNTO EXPERIMENTAL	25
3.3	AVALIAÇÃO DA COR DE SEBO BOVINO	26
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	27
3.5	TESTES EM PROCESSO	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	ESTUDO DA SITUAÇÃO ATUAL: AVALIAÇÃO DO TEMPO DE MISTURA A PARTIR DA CRONOANÁLISE	29
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL	30
4.3	AVALIAÇÃO DOS TESTES EM PROCESSO	33
4.3.1	Teste inicial	34
4.3.2	Condição atual de processo	37
4.3.3	Teste com 12 bateladas	38
4.4	GANHOS DO PROJETO	40
5.	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

Os sabonetes são uma forma especial de sabão, desenvolvidos especificamente para a higiene pessoal. Eles se destacam pela qualidade superior em comparação aos sabões usados na limpeza doméstica ou de roupas, principalmente devido à seleção cuidadosa das matérias-primas e ao controle rigoroso aplicado durante a sua produção (Vieira *et al.*, 2019). Esses sabonetes são encontrados na forma líquida e em barra (Chaves; Alves Filho; Bender, 2022).

O sabão é o resultado da combinação entre uma gordura ou óleo (que contém ácidos graxos), água e uma base alcalina (como hidróxido de sódio). Esse processo, conhecido como saponificação, ocorre quando a gordura neutra reage com a base, dando origem ao glicerol (glicerina) e sais de ácidos graxos, que são as moléculas de sabão propriamente ditas (Chiarini *et al.*, 2021).

A produção de sabonetes envolve o uso de gorduras, que podem ser obtidas tanto de fontes animais quanto vegetais. No que diz respeito às matérias-primas de origem animal, a gordura bovina (conhecida como sebo) é a mais comumente empregada nesse tipo de processo (Vieira *et al.*, 2020).

Uma indústria de sabonetes em barra é, geralmente, estruturada nas seguintes etapas: branqueamento, saponificação, adição de insumos, secagem, extrusão e envase. Cada uma dessas etapas é fundamental para garantir a qualidade e as características finais do produto (Spitz, 2016). O branqueamento da gordura representa uma etapa essencial no processo de produção de sabão, pois o sebo animal obtido de grandes indústrias não costuma apresentar boas condições de coloração, aspecto e odor para a fabricação de um produto usado para higiene pessoal. Logo, é necessário que seja realizada a purificação e a desodorização desse insumo antes de seu uso (Spitz, 2016; Van Dujin, 2016).

A otimização de processos industriais é imprescindível para a melhoria da eficiência operacional do processo. Essa prática consiste em analisar de maneira aprofundada as etapas de um processo para encontrar oportunidades de melhorias. Assim, espera-se que haja a possibilidade de redução de desperdícios, diminuição do tempo de ciclos e melhoria da qualidade dos produtos (Bomfim, 2024).

Logo, nesse contexto, são utilizadas técnicas estatísticas para buscar a otimização dos resultados, sendo uma delas a Análise de Variância (ANOVA) em um planejamento fatorial. Essa técnica analisa o impacto que fatores de processo podem trazer para a variável resposta

desejada. O planejamento e análise de experimentos são capazes de aprimorar as características da manufatura e otimizar o uso de recursos (Silva, 2018).

Este trabalho tem como objetivo utilizar a técnica de Análise de Variância (ANOVA), por meio de um planejamento fatorial, para avaliar e identificar os fatores que mais influenciam na eficiência do processo produtivo de sabonetes em barra, com foco na etapa de branqueamento de gordura. A partir de experimentos laboratoriais que repliquem o processo industrial e de testes realizados em planta, busca-se aumentar a produtividade e reduzir o uso de insumos, contribuindo para a otimização operacional e a manutenção da qualidade do produto, tendo ainda como objetivos específicos:

- Determinar quais os parâmetros operacionais influenciam no processo de modo a aumentar a produtividade do processo de branqueamento de sebo bovino na produção de sabonete em barra;
- Reduzir o uso de insumos do processo produtivo;
- Replicar a etapa de branqueamento de sebo bovino em escala laboratorial;
- Realizar testes em planta para validar os resultados experimentais;
- Aprimorar o procedimento operacional da etapa de branqueamento, padronizando etapas específicas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Ao longo desta seção, serão apresentados conceitos sobre o histórico do desenvolvimento do sabão, o processo de branqueamento de gordura e seu ciclo produtivo, incluindo a análise de parâmetros desse processo. Em seguida, serão detalhadas as metodologias de Planejamento de Experimentos, bem como a aplicação de Análise de Variância (ANOVA) e carta de Pareto, que são ferramentas essenciais para a otimização de processos.

2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DO DESENVOLVIMENTO DO SABÃO

A produção de sabão remonta a antigas civilizações, que já possuíam o conhecimento de que a mistura de gorduras e óleos com cinzas (álcalis) resultava em uma substância que, quando diluída em água, gerava espuma e podia ser utilizada para lavar roupas, utensílios e o corpo (Ferreira *et al.*, 2022).

No início da Idade Média, a fabricação de sabão era uma atividade restrita. Com o passar do tempo, o produto se tornou mais acessível e passou a ser produzido em uma variedade maior. França, Itália e Espanha se destacaram como pioneiras nesse processo de fabricação. Em 1622, o rei James I incentivou a criação de um monopólio da indústria do sabão na Inglaterra. Anos depois, o produto passou a ser fortemente tributado, o que dificultou o acesso da população em geral (Oliveira; Gonçalves, 2016).

Segundo Moura e Pedrosa (2020), em 1791, o químico francês Nicolas Leblanc desenvolveu e registrou um método de produção de sabão que combinava gordura animal com carbonato de sódio, obtido a partir das cinzas. Essa inovação permitiu a obtenção de soda cáustica de qualidade a um custo mais acessível, o que impulsionou a fabricação em escala industrial. Posteriormente, no século XIX, o químico James Gamble aperfeiçoou o produto ao criar um sabão com aroma agradável, coloração branca e consistência mais cremosa.

Ao longo dos anos, os processos de fabricação do sabão passaram por poucas mudanças estruturais, mas evoluíram significativamente em relação à qualidade das matérias-primas, às técnicas de produção e ao acabamento do produto (Conselho Regional de Química da IV Região, 2021).

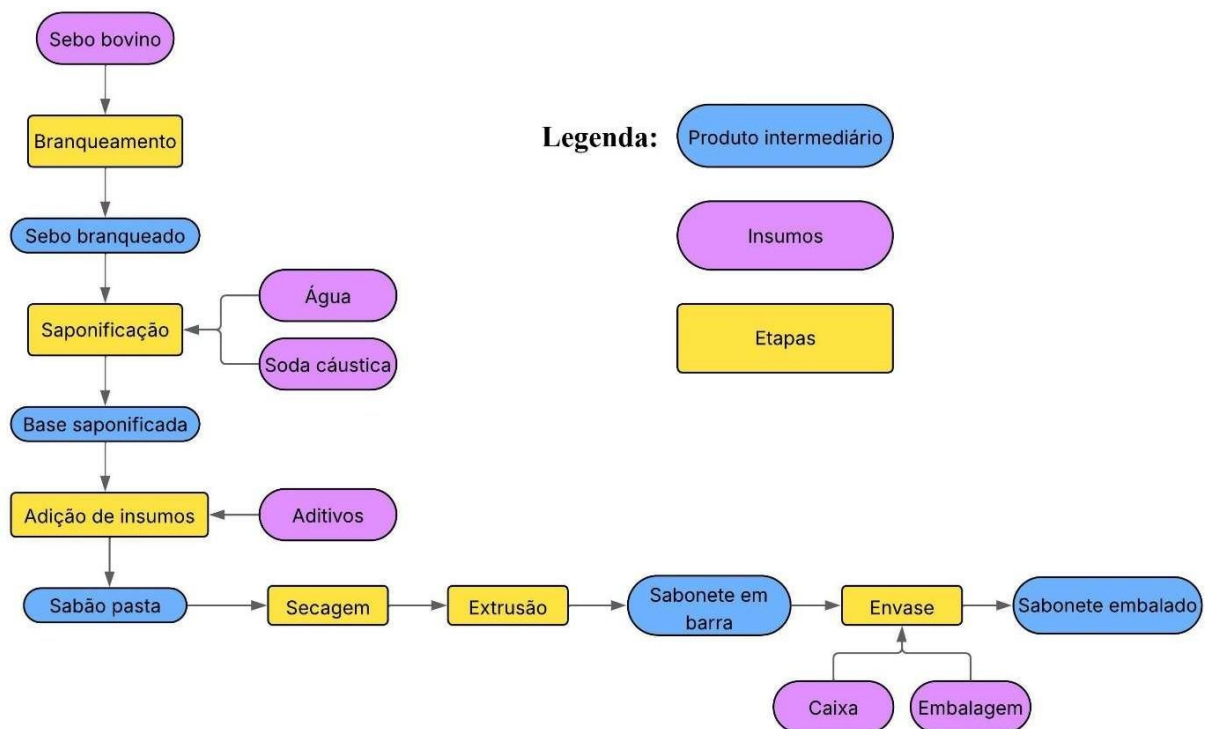
Embora tanto o sabão quanto o sabonete sejam produzidos pelo processo de saponificação, os sabonetes se diferenciam por serem desenvolvidos especificamente para a higiene pessoal. Eles se destacam pela qualidade superior das matérias-primas e pelo controle

mais rigoroso durante a produção, além da adição de aditivos como perfumes e corantes para melhorar a experiência de uso. Sabonetes também possuem um pH mais próximo ao da pele, tornando-os menos agressivos para uso pessoal. Por outro lado, os sabões tradicionais possuem pH mais alcalino e são mais indicados para limpezas pesadas, como de roupas ou superfícies (Khosrowpour *et al.*, 2022).

Um destaque pode ser dado aos sabonetes em barra, que mantêm uma posição de destaque no mercado global de produtos para higiene pessoal. Mesmo diante do surgimento de novas formas e tecnologias, esse tipo de produto segue amplamente utilizado pela população, sendo valorizado por sua praticidade, eficiência na limpeza e acessibilidade. A indústria de sabonetes em barra acompanha os avanços tecnológicos e adapta-se às demandas do consumidor por qualidade, desempenho e funcionalidade. Além disso, fazem parte da rotina diária de cuidados pessoais, contribuindo significativamente para a manutenção da limpeza e da saúde da pele (Prieto Vidal *et al.*, 2018; Rundle *et al.*, 2020; Oliveira, 2024).

O processo de fabricação de sabonete em barra compreende etapas que vão da preparação da matéria-prima ao produto final. Essas etapas podem ser vistas no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do processo de fabricação de sabonete em barra



Fonte: o autor (2025).

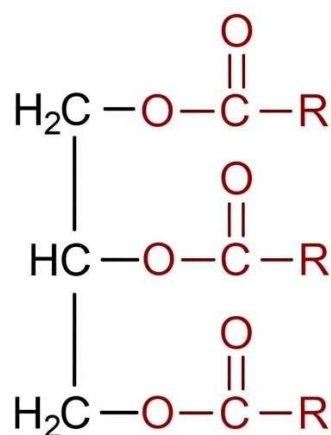
Conforme ilustrado na Figura 1, o processo de manufatura do sabonete em barra envolve, inicialmente, o branqueamento do sebo bovino. Em seguida, ocorre a saponificação, reação em que água e soda cáustica transformam as gorduras em sabão. O sabão em pasta recebe insumos para conferir características específicas, é seco para retirada de umidade, e extrusado para formar as barras. Por fim, as barras são embaladas e armazenadas para distribuição ao cliente (Melo Filho, 2024).

A qualidade dos sabonetes em barra está diretamente relacionada à seleção criteriosa das matérias-primas, especialmente das fontes de gorduras, que determinam as propriedades finais do produto, como dureza, capacidade de formação de espuma e efeito hidratante (Almeida *et al.*, 2023). Nesse contexto, o branqueamento de gordura se torna uma etapa fundamental para assegurar a qualidade e as características desejadas do produto (Reis *et al.*, 2023).

2.2 BRANQUEAMENTO DE GORDURA

A escolha das matérias graxas, compostos orgânicos formados predominantemente por triglicerídeos — moléculas de glicerol ligadas a três ácidos graxos (conforme apresentado na Figura 2) — marca o início do processo de fabricação de sabonetes. Essa seleção é determinante para a qualidade do produto, influenciando tanto o tipo de sabonete quanto o método de produção (Silva; Souza, 2020; Soares, 2024).

Figura 2 - Representação da molécula de triglicerídeos



Fonte: Momesso (2024).

Entre as principais fontes de gorduras, destacam-se as de origem animal, como o sebo bovino, com propriedades específicas que impactam diretamente em características como dureza, solubilidade, formação de espuma e poder de limpeza. Essas propriedades são obtidas por meio da seleção adequada das matérias graxas e do controle preciso da saponificação — reação na qual os triglicerídeos são convertidos em glicerina e sais de ácidos graxos. Antes dessa etapa, realiza-se o branqueamento das gorduras, um processo fundamental para a remoção de impurezas e para a obtenção da coloração e qualidade desejadas no sabonete final (Ferreira *et al.*, 2022).

Logo, além da seleção cuidadosa da matéria graxa utilizada, uma das etapas mais caras e relevantes na produção de sabão é o branqueamento da gordura. Isso se deve ao fato de que, de modo geral, o sebo bovino adquirido pelas indústrias não possui condições adequadas de aspecto, odor e coloração para ser convertido em um produto de higiene pessoal. Portanto, é fundamental que essa matéria-prima seja submetida a processos de refino e desodorização (Spitz, 2016; Van Duijn, 2016).

A etapa de branqueamento baseia-se na adsorção de impurezas polares, como resíduos de osso, sangue e ácidos graxos livres, presentes na matéria graxa (Chew; Tan; Nyam, 2017). No contexto brasileiro, o mineral que costuma ser utilizado com maior frequência nesse processo é a argila bentonita (Olu-Owolabi *et al.*, 2016; Asgari; Sahari; Barzegar, 2018).

Apesar desse processo indicar uma operação simples de mistura entre gordura e adsorvente, seguida de filtração, ele envolve interações físico-químicas complexas. O desempenho desse processo é condicionado por uma série de variáveis operacionais, como os níveis de umidade, a temperatura, o tempo de contato, a pressão de vácuo, além da qualidade da gordura alimentada no sistema e da dosagem de adsorvente (Brooks; Berbesi; Hodgson, 2019).

2.3 CICLO PRODUTIVO DO BRANQUEAMENTO

A primeira etapa do branqueamento ocorre por meio de uma reação endotérmica de adsorção, em que a argila branqueadora interage com os pigmentos presentes na mistura de materiais graxos. Esse processo é realizado sob vácuo, geralmente na faixa de 80 a 120 °C, com uma duração que comumente varia de 20 a 40 min (Patrício; Hotza; Noni, 2014).

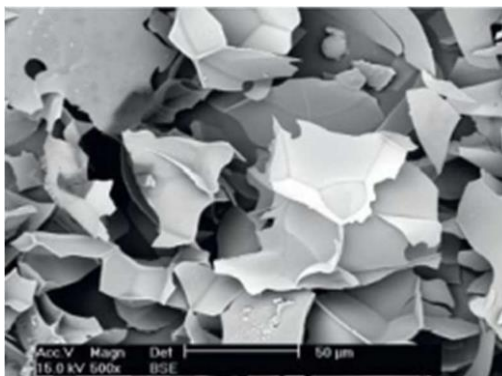
A bentonita é um tipo de argila branqueadora amplamente utilizada no branqueamento de gorduras. Trata-se de um mineral natural com estrutura cristalina composta por camadas de

silicatos, caracterizando-se por sua morfologia lamelar, elevada área superficial, capacidade moderada de troca catiônica, com presença de grupos hidroxila reativos em sua superfície (Chen *et al.*, 2020).

Após o processo de branqueamento da gordura, é fundamental remover os resíduos sólidos e impurezas finas que permanecem em suspensão no *blend*. Para isso, realiza-se a filtração mecânica, etapa essencial para garantir a clarificação e a qualidade do produto (Melo Filho, 2024).

Uma técnica eficiente utilizada nesse processo é a filtração com perlita, um mineral de origem vulcânica que, ao ser expandido termicamente, adquire uma estrutura altamente porosa. Essa porosidade confere à perlita excelentes propriedades de retenção de partículas, com vantagens em relação a outros meios filtrantes, como a terra diatomácea, que oferece menor densidade e maior capacidade de fluxo com boa retenção de sólidos (Breancini, 2018). A Figura 3 ilustra a microestrutura da perlita expandida, através de uma imagem de microscopia eletrônica de varredura.

Figura 3 - Exemplo de uma micrografia estrutural da perlita expandida



Fonte: Breancini (2018).

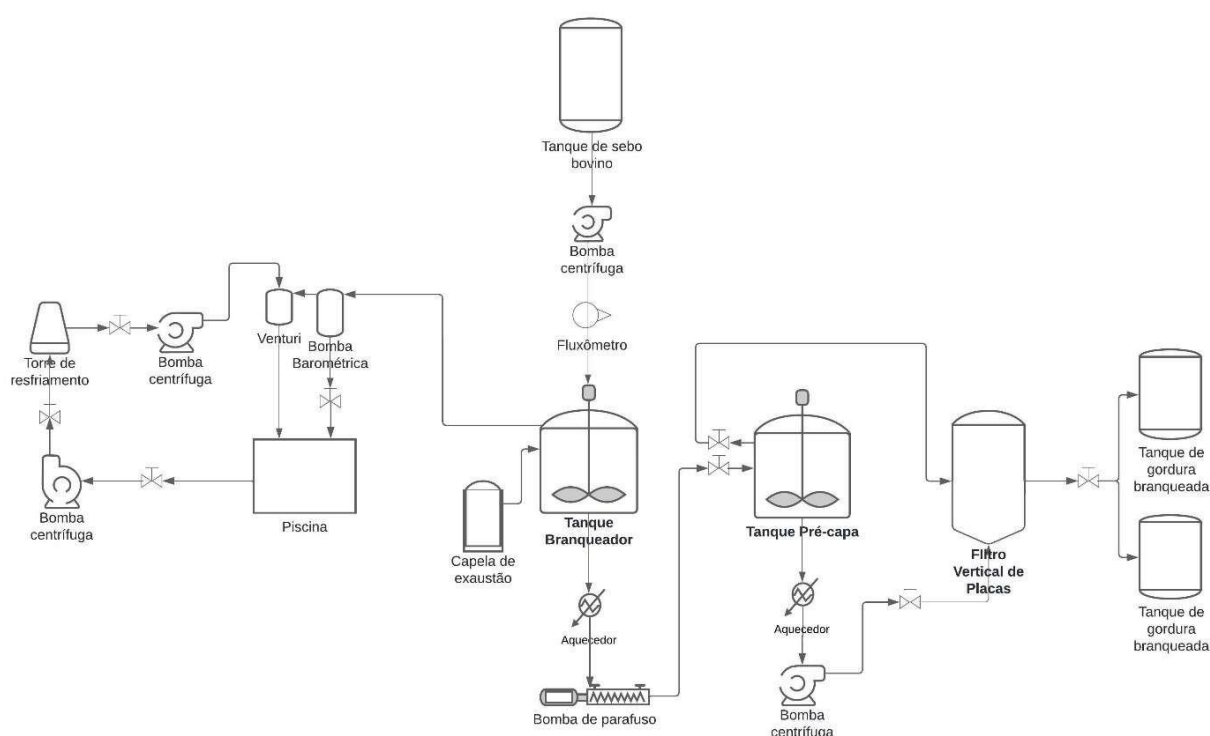
A microscopia eletrônica de varredura apresentada na Figura 3 revela que a perlita expandida possui uma morfologia com estrutura lamelar. Esse tipo de análise é fundamental para conhecer a superfície do material utilizado (Silva Filho; Vinaches; Pergher, 2017).

Conhecida a estrutura do material, o equipamento empregado na etapa de filtração é o filtro de placas. Ele consiste em um conjunto de placas onde se aplicam elementos filtrantes e camadas de pré-capa formadas pela perlita. Essa camada funciona como uma barreira inicial, retendo as partículas sólidas e protegendo o meio filtrante principal. Durante a operação, o *blend*

passa sob pressão pelas placas, e as impurezas ficam retidas na camada de perlita. O líquido clarificado então é conduzido para as próximas etapas do processo produtivo (Breancini, 2018).

O processo de branqueamento pode ser realizado tanto em bateladas quanto de forma contínua, a depender da escala de produção e das características operacionais da planta (Athira; Sifana; Menon, 2023). O fluxograma do processo de branqueamento em batelada está representado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do processo de branqueamento de gordura em bateladas



Fonte: o autor (2025).

Na Figura 4 pode-se observar as principais etapas envolvidas na operação. O processo se inicia com a transferência do sebo bovino do tanque de armazenamento para o tanque branqueador. Nesse equipamento, são aplicados simultaneamente um sistema de vácuo e o aquecimento por serpentinas. Essa combinação tem como objetivo a remoção da umidade presente na gordura, fator essencial para garantir a eficiência da argila bentonita, cuja capacidade de adsorção pode ser prejudicada pela presença de água (He *et al.*, 2022).

Com o meio adequado, uma determinada quantidade de argila branqueadora, dosada em quilo conforme a proporção estabelecida para o processo, é adicionada de forma distribuída ao longo de ciclo de bateladas. Esse procedimento se dá por meio da capela de exaustão, sendo a

argila homogeneizada com a gordura no interior do tanque, dando origem a uma mistura (Shahidi, 2015).

Essa mistura permanece sob agitação durante um tempo determinado, promovendo a interação entre os contaminantes e os sítios ativos da argila, o que contribui para aprimorar o aspecto da gordura (Mukasa-Tebandeke *et al.*, 2015). Na sequência, de forma simultânea, a mistura segue para o tanque pré-capa e, posteriormente, para o filtro vertical de placas, responsável pela retenção dos sólidos. A gordura clarificada é então direcionada aos tanques de armazenamento de gordura branqueada para ser utilizada nas etapas seguintes da produção.

Ao final de cada ciclo de bateladas, realiza-se a dosagem de perlita, em quantidade definida em quilo, diretamente no tanque pré-capa. Como foi mencionado, a perlita atua como auxiliar filtrante, formando uma camada protetora sobre as placas do filtro vertical (Rilling, 2014).

A compreensão detalhada dessas etapas evidencia a importância de estudar determinados parâmetros do processo, uma vez que eles impactam diretamente a eficiência do branqueamento e a qualidade da gordura (Huda *et al.*, 2024).

2.4 ANÁLISE DE PARÂMETROS DO PROCESSO

Dentre os fatores primordiais para a etapa de branqueamento, destaca-se a temperatura de processamento, que é diretamente responsável pela retirada da umidade da gordura. Isso ocorre porque a argila branqueadora bentonita é considerada hidrofílica e isso interfere diretamente no processo de adsorção das impurezas e contaminantes presentes na gordura (Duarte; Vieira, 2020).

O tempo de contato entre a gordura e a argila também é um fator relevante, pois, de acordo com Brooks, Berbesi e Hodgson (2019) essas argilas possuem um número limitado de sítios ativos para a adsorção de contaminantes. O preenchimento desses sítios ocorre de forma eficiente, desde que a quantidade de contaminantes esteja compatível com o volume de poros e a área superficial disponível. À medida que esses sítios ativos se aproximam da saturação, o nível de contaminantes residuais torna-se tão baixo que não justifica prolongar o tempo de processo em busca da adsorção das impurezas remanescentes.

Adicionalmente, destaca-se a importância da dosagem de argila branqueadora, por estar diretamente relacionada com a remoção de componentes indesejados na gordura. No que diz respeito ao sebo bovino, objeto de estudo deste trabalho, a melhora da coloração vem através

da remoção de compostos orgânicos como carotenoides, xantofilas, clorofilas, feofitinas, tocoferóis, gossipol e seus produtos de degradação, que podem transmitir uma coloração indesejada (Boroujeni *et al.*, 2020).

Diante da identificação dos parâmetros críticos que influenciam a eficiência do branqueamento, como temperatura, tempo de contato e dosagem de argila, torna-se essencial empregar ferramentas estatísticas que permitam a otimização simultânea dessas variáveis. Nesse contexto, a técnica de planejamento de experimentos surge como uma metodologia eficaz para avaliar e aprimorar o desempenho do processo (Ribeiro, 2024).

2.5 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

O planejamento de experimentos é uma metodologia empregada para determinar quais dados devem ser coletados, em que quantidade e sob quais condições, durante um experimento específico, considerando as variáveis (fatores) analisadas. Seu principal objetivo é alcançar alta precisão estatística nos resultados, além de reduzir a variabilidade do processo por meio da aplicação de ferramentas estatísticas (Sirqueira *et al.*, 2020).

Os experimentos planejados são eficazes para melhorar processos influenciados por múltiplas variáveis e suas combinações. Segundo Montgomery (2020) e Pimenta (2023), a elaboração de um planejamento de experimentos envolve várias etapas: 1) reconhecimento e a definição clara do problema e dos objetivos; 2) escolha dos fatores e seus respectivos níveis de variação; 3) definição da variável resposta, como a média e/ou o desvio padrão dos resultados; 4) escolha do tipo de planejamento experimental, considerando aspectos como tamanho da amostra e a aleatorização. Definidas as etapas, realiza-se o experimento com controle rigoroso do processo, fazendo com que os dados obtidos sejam analisados por meio de métodos estatísticos, e, por fim, obtenha-se conclusões práticas e recomendações com base nos resultados.

Conforme Jankovic, Chaudary e Goia (2021) o planejamento de experimentos, do inglês *Design of Experiments* (DOE), compreende um conjunto de ferramentas estatísticas aplicadas com o objetivo de identificar e quantificar, de forma sistemática, as relações de causa e efeito entre as variáveis de um processo. Sendo assim, tem-se como objetivo determinar as melhores configurações para sua otimização.

Por se tratar de um processo experimental aliado à análise estatística, os planejamentos de experimentos podem variar conforme o tipo de procedimento analisado. O planejamento fatorial, por sua vez, é um tipo de DOE empregado quando se deseja analisar os efeitos de duas ou mais variáveis simultaneamente, possibilitando o estudo de múltiplos fatores com um número reduzido de experimentos. Além disso, esse tipo de planejamento permite distinguir os efeitos individuais de cada variável, favorecendo uma análise mais completa e eficiente (Button, 2016).

Nesse contexto, o planejamento fatorial do tipo delineamento composto central rotacional (DCCR) é amplamente utilizado para otimizar processos e identificar as condições ideais de operação. Esse tipo de planejamento é ideal para construção de modelos de segunda ordem que representam o comportamento da variável resposta em função de múltiplos fatores (Myers; Montgomery; Anderson-Cook, 2016). Ao combinar pontos fatoriais, axiais e centrais, o DCCR permite uma exploração eficiente do espaço experimental, possibilitando a estimativa de efeitos lineares e de interação entre os fatores (Montgomery, 2017). A Tabela 1 apresenta a matriz codificada desse delineamento, detalhando as combinações de níveis codificados dos fatores.

Tabela 1 – Matriz codificada do DCCR

Ensaio	Fator 1 (codificado)	Fator 2 (codificado)	Fator 3 (codificado)	Ensaio	Fator 1 (codificado)	Fator 2 (codificado)	Fator 3 (codificado)
1	0	$-\alpha$	0	11	0	0	$+\alpha$
2	-1	+1	+1	12	0	0	0
3	0	0	0	13	$+\alpha$	0	0
4	0	$+\alpha$	0	14	-1	-1	-1
5	+1	+1	-1	15	-1	+1	-1
6	0	0	0	16	+1	-1	-1
7	+1	-1	+1	17	0	0	$-\alpha$
8	+1	+1	+1	18	-1	-1	+1
9	0	0	0	19	0	0	0
10	$-\alpha$	0	0	20	0	0	0

Fonte: o autor (2025).

A eficácia de um planejamento experimental está intrinsecamente ligada à aplicação de métodos estatísticos adequados para a análise dos dados obtidos. Entre esses métodos, destaca-se a análise de variância (ANOVA), que permite avaliar a significância dos efeitos dos fatores estudados, facilitando a interpretação dos resultados e a tomada de decisões informadas no processo experimental (Apolinario, 2023).

2.6 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

A análise de variância (ANOVA) é um método estatístico empregado para comparar três ou mais grupos de amostras, envolvendo um ou mais fatores de controle. Esse método busca realizar testes que identifiquem relações de causa e efeito entre variáveis, possibilitando a comparação simultânea das médias desses diferentes grupos (Barbetta, 2008).

Segundo Pimenta (2023), quando dois níveis de um fator produzem respostas médias estatisticamente iguais, considera-se que esse fator não exerce influência sobre a resposta. No entanto, se a média da resposta em um determinado nível for estatisticamente diferente das médias nos demais níveis, conclui-se que o fator possui significância.

Assim, a análise de variância (ANOVA) tem como função auxiliar na identificação dos principais fatores que influenciam a resposta. Essa análise permite avaliar o grau de significância existente entre os efeitos resultantes da variação entre os grupos (Penteado, 2011).

Para essa avaliação, a ANOVA utiliza o teste F, considerado um teste estatístico global, que rejeita ou não a hipótese de igualdade de médias populacionais de diversos grupos, mas não determina quais grupos específicos têm médias estatisticamente diferentes. Por essa razão, se o teste F indicar uma diferença significativa, torna-se necessário aplicar um teste de comparação de médias dos tratamentos, comumente denominados testes *post-hoc* (Silva, 2018).

Nesse contexto, destaca-se o teste de Fisher, aplicado para comparar pares de médias, após a confirmação da significância do teste F. Esses testes são desenvolvidos para efetuar comparações múltiplas entre pares de grupos, ajustando o nível de significância para controlar o aumento do risco de erros que levam a falsos positivos. Esse procedimento é fundamental para identificar precisamente as diferenças específicas entre os grupos e, assim, poder concluir qual o melhor tratamento (Hair *et al.*, 2019).

Uma vez que os fatores estatisticamente significativos são identificados, torna-se fundamental priorizar quais deles exercem maior impacto na resposta. Para essa finalidade de

visualização e priorização, uma ferramenta gráfica amplamente empregada é a carta de Pareto, que direciona os esforços para as causas de maior relevância (Goetsch; Davis, 2016).

2.7 CARTA DE PARETO

Como afirmam Abrão e Cardoso (2020), a carta de Pareto é uma ferramenta que organiza os fatores de um experimento ou processo de acordo com sua frequência ou impacto, permitindo identificar rapidamente quais são os mais relevantes. No contexto de experimentos planejados, após a coleta e análise dos dados, a carta de Pareto é utilizada para destacar visualmente quais variáveis ou interações entre variáveis exercem maior influência sobre a resposta estudada. Isso é feito organizando os fatores em ordem decrescente de importância, geralmente baseada em medidas como frequência, magnitude do efeito ou contribuição percentual para a variabilidade do resultado.

Dessa forma, a carta de Pareto facilita a priorização dos fatores que mais impactam o sistema, direcionando esforços de melhoria ou investigação para as causas mais significativas (Kikugava; Sobreira, 2022). Na prática, após executar um experimento fatorial, os efeitos principais e as interações são quantificados e apresentados na carta de Pareto. Assim, é possível visualizar de forma clara quais fatores devem ser priorizados. Essa abordagem é fundamental para a eficiência de estudos focados na otimização de processos, pois permite que recursos e ações sejam direcionados de maneira estratégica, evitando desperdícios com fatores de impacto insignificante. Além disso, a carta de Pareto complementa a análise estatística convencional ao fornecer uma representação visual intuitiva dos resultados (Santos *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2021).

3 METODOLOGIA

Esta seção descreve os materiais e métodos que foram utilizados no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso. Inicialmente, foi realizado um acompanhamento do processo industrial com o objetivo de compreendê-lo e estabelecer valores de referência do processo atual para futuras avaliações e ajustes. Em seguida, foram realizados ensaios através de planejamentos fatoriais em laboratório, simulando o processo real para investigar esses parâmetros de forma controlada. Por fim, testes em planta foram executados para validar, em escala industrial, os resultados obtidos experimentalmente.

3.1 ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL

Um acompanhamento detalhado do processo de branqueamento de gordura foi realizado utilizando a técnica de cronoanálise. Essa análise tem como objetivo identificar, por meio do desvio padrão, as etapas do processo com maior variação temporal e avaliar o grau de padronização dos procedimentos operacionais adotados (Ferreira *et al.*, 2022).

Diversas etapas do processo foram avaliadas, incluindo o tempo de mistura entre gordura e argila branqueadora no tanque branqueador até o início da transferência para o filtro de placas e tanques de gordura, além do tempo necessário para a operação completar um ciclo com um número definido de bateladas e o intervalo necessário para a preparação antes do início do ciclo seguinte. A intenção desta etapa foi identificar etapas com maiores variações, que possam representar pontos críticos do processo, e verificar a existência e a consistência dos padrões de procedimento aplicados, apontando possíveis necessidades de ajuste para garantir maior uniformidade e eficiência operacional.

3.2 CONJUNTO EXPERIMENTAL

Para a realização dos ensaios experimentais, foram utilizados 200 g de *blend* de sebo bovino, oriundo de diversos fabricantes, dispostos em um Kitasato de 1000 mL, apropriado para operação sob vácuo. Esse arranjo possibilitou a simulação das condições do processo industrial, por meio da utilização de uma bomba a vácuo (marca Tecnal, modelo TE-0581) e um agitador magnético com aquecimento (marca Gehaka, modelo AA-1840), que possibilitou

o controle simultâneo da agitação, ajustada para 630 rpm, e da temperatura da amostra, medida em graus Celsius (°C).

A argila bentonita, fornecida pela empresa Buntech, foi pesada e posteriormente adicionada a mistura com o auxílio de um funil. O tempo de contato entre a argila e o sebo foi cronometrado cuidadosamente para garantir a precisão e a consistência dos testes realizados. A Figura 5 ilustra o sistema que foi montado em laboratório para a condução dos testes.

Figura 5 - Sistema em laboratório para branqueamento de gordura a vácuo



(1) Kitasato, (2) Chapa aquecedora com agitador magnético, (3) Estrutura adaptada para retenção de umidade, (4) Bomba a vácuo.

Fonte: o autor (2025).

3.3 AVALIAÇÃO DA COR DE SEBO BOVINO

A coloração do sebo bovino, avaliada por meio das escalas vermelha e amarela, foi utilizada como variável de resposta no planejamento experimental, representando o principal indicador de eficiência do processo. Para a análise de coloração, utilizou-se um colorímetro Lovibond (modelo Fx), que compara a cor da amostra com padrões pré-estabelecidos. O equipamento operou com cubetas de vidro borossilicato que apresentam dois comprimentos de caminho óptico: 1 polegada (") e 5,25". Neste estudo, adotou-se a faixa de 5,25" para as medições, sendo observadas faixas de transmitância de 1,0 a 79,0 u.a. para a coloração amarela e de 0,1 a 27,9 u.a. para a coloração vermelha. As análises foram realizadas antes e após o processo de branqueamento, permitindo o cálculo do percentual de redução das colorações e a identificação das melhores condições experimentais.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi elaborado um planejamento fatorial do tipo DCCR para otimizar as variáveis temperatura (°C), tempo de contato (min) e quantidade de argila (%m/m). Para o tratamento dos dados experimentais, utilizou-se o software estatístico Minitab (versão 22.0), que permitiu a obtenção de modelos empíricos de segunda ordem, representando matematicamente o comportamento do sistema. A seleção dos termos significativos dos modelos foi realizada com base nos valores de p , considerando um nível de confiança de 95%.

As faixas de variação adotadas no planejamento foram definidas com base nas condições do processo: a temperatura (95-105 °C), o tempo de contato (35-45 min) e a quantidade de argila (0,63-3,12 %m/m). Por se tratar de um DCCR, cuja matriz de planejamento está apresentada na Tabela 2, o planejamento inclui pontos centrais e axiais, o que permite maior compreensão do comportamento dos fatores.

Tabela 2 - Matriz do planejamento do tipo DCCR

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo de contato (min)	Quantidade de argila (%m/m)	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo de contato (min)	Quantidade de argila (%m/m)
1	100	31,5	1,87	11	100	40,0	3,96
2	95	45,0	3,12	12	100	40,0	1,87
3	100	40,0	1,87	13	108	40,0	1,87
4	100	48,4	1,87	14	95	35,0	0,63
5	105	45,0	0,63	15	95	45,0	0,63
6	100	40,0	1,87	16	105	35,0	0,63
7	105	35,0	3,12	17	100	40,0	0,00
8	105	45,0	3,12	18	95	35,0	3,12
9	100	40,0	1,87	19	100	40,0	1,87
10	91	40,0	1,87	20	100	40,0	1,87

Fonte: o autor (2025).

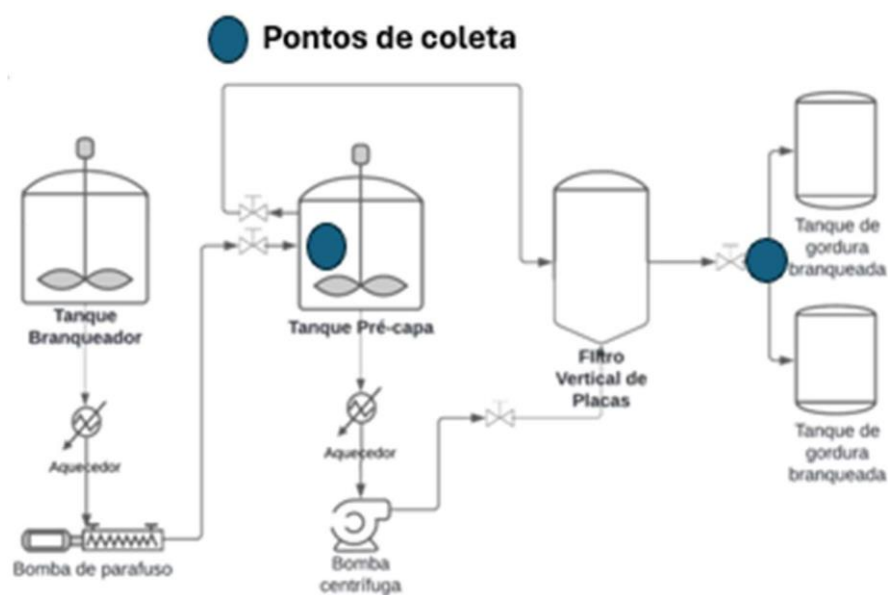
Os resultados foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA). A significância estatística do modelo foi verificada por meio do teste F, baseado na

distribuição de Fisher. Foi gerada a carta de Pareto para identificar os efeitos das variáveis operacionais sobre a resposta analisada e destacar aqueles estatisticamente significativos.

3.5 TESTES EM PROCESSO

Para validar os dados obtidos estatisticamente a partir dos ensaios realizados em laboratório, foram coletadas amostras diretamente no processo industrial. O objetivo foi verificar se ocorria alguma etapa adicional de adsorção além da mistura inicial entre o sebo bovino e a argila branqueadora. As coletas foram feitas em dois pontos estratégicos: na saída do tanque branqueador, onde a gordura é direcionada para o pré-capa, e após a passagem pelo filtro de placas. Essa abordagem possibilitou a avaliação das condições do processo atual e identificação de possíveis etapas extras de adsorção. A Figura 6 ilustra quais serão os pontos de coleta definidos.

Figura 6 - Indicação de pontos de coleta para teste em processo



Fonte: o autor (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados e analisados os resultados obtidos a partir da aplicação do planejamento experimental na otimização do processo de branqueamento através de ensaios laboratoriais. Com base nos resultados dos experimentos, foram conduzidos testes em processo para validar a influência dos parâmetros analisados em escala industrial.

Inicialmente, foi realizada uma cronoanálise com o objetivo de identificar etapas do processo com variações significativas no tempo de execução. A partir da comparação desses dados com os tempos-padrão previamente estabelecidos, foi possível avaliar a adequação das atividades e estruturar a base para os estudos desenvolvidos, cujos resultados estão apresentados nesta seção.

4.1 ESTUDO DA SITUAÇÃO ATUAL: AVALIAÇÃO DO TEMPO DE MISTURA A PARTIR DA CRONOANÁLISE

A cronoanálise realizada no processo revelou desvios expressivos em relação ao tempo-padrão definido para a etapa de mistura. Esta análise foi conduzida ao longo de 9 dias, acompanhando diferentes operadores e em bateladas de ciclos distintos. O tempo médio de mistura observado nessa operação apresentou um aumento superior a 110% em relação ao valor de referência do padrão técnico de processo, acompanhado de elevada variabilidade entre os ciclos analisados. Esta etapa, por sua vez, é fundamental no processo de branqueamento, pois é durante a mistura que ocorre a adsorção da argila sobre os compostos indesejados presentes no sebo bovino. Trata-se, portanto, de uma fase primordial para a eficácia do tratamento, influenciando diretamente na qualidade do produto.

Os resultados obtidos indicam a necessidade de se estabelecer de forma mais precisa e uniforme o tempo ideal de mistura, de modo a garantir a efetividade da adsorção e a repetibilidade do processo. Além disso, a partir dessa análise inicial, identificou-se uma oportunidade estratégica de revisão da estrutura do ciclo de produção, considerando ajustes que favoreçam a melhoria da produtividade, sem comprometer os padrões de qualidade do produto.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL

Para determinar as melhores condições de trabalho para o processo de branqueamento, foi realizado um planejamento fatorial do tipo DCCR. Os resultados obtidos nos experimentos listados na Tabela 2, apresentada no item 3.4 estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de redução das cores amarela e vermelha por meio do planejamento fatorial DCCR, onde A é Temperatura (°C), B é Tempo de Contato (min) e C é Quantidade de Argila (%m/m)

Experimento	A	B	C	Redução da cor amarela (%)	Redução da cor vermelha (%)
1	100	31,5	1,87	74,68	67,74
2	95	45,0	3,12	87,34	77,06
3	100	40,0	1,87	81,01	69,18
4	100	48,4	1,87	81,01	64,52
5	105	45,0	0,63	62,03	45,88
6	100	40,0	1,87	81,01	65,23
7	105	35,0	3,12	87,34	76,34
8	105	45,0	3,12	87,34	71,33
9	100	40,0	1,87	87,34	61,65
10	91	40,0	1,87	87,34	71,33
11	100	40,0	3,96	87,34	70,25
12	100	40,0	1,87	81,01	68,82
13	108	40,0	1,87	81,01	61,99
14	95	35,0	0,63	36,71	52,69
15	95	45,0	0,63	36,71	51,25
16	105	35,0	0,63	36,71	46,59
17	100	40,0	0,00	0,00	0,00
18	95	35,0	3,12	87,34	72,40
19	100	40,0	1,87	81,01	61,99
20	100	40,0	1,87	81,01	62,34

Fonte: o autor (2025).

Na Tabela 3, observa-se os resultados obtidos de redução percentual da cor amarela e vermelha do sebo bovino, a partir do planejamento experimental. Sabe-se que apenas os fatores com valor p menor que $\alpha = 0,05$ são relevantes para a análise. A ANOVA, conduzida com auxílio do software estatístico Minitab, permitiu avaliar o impacto dos fatores estudados sobre as respostas de cor do sebo bovino. Para a cor amarela, o valor- p do fator C isolado foi de 0,00009, um valor significativamente menor que o nível de significância de 0,05. De forma similar, para a cor vermelha, o valor- p obtido foi de 0,00026, igualmente demonstrando alta significância. Esses resultados comprovam a importância estatística da quantidade de argila na promoção da redução da cor do sebo bovino. Visto que os fatores isolados (A e B) e as demais interações apresentarem valores- p elevados indica que essas variáveis, individualmente ou em combinação, não influenciam significativamente o resultado da cor da gordura. Isso sugere a ausência de um impacto estatístico e físico relevante dessas variáveis na redução das cores.

A identificação dos melhores parâmetros de processo foi então realizada através dos coeficientes codificados, igualmente fornecidos pelo software, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficientes codificados do planejamento de experimentos gerados com auxílio do Minitab

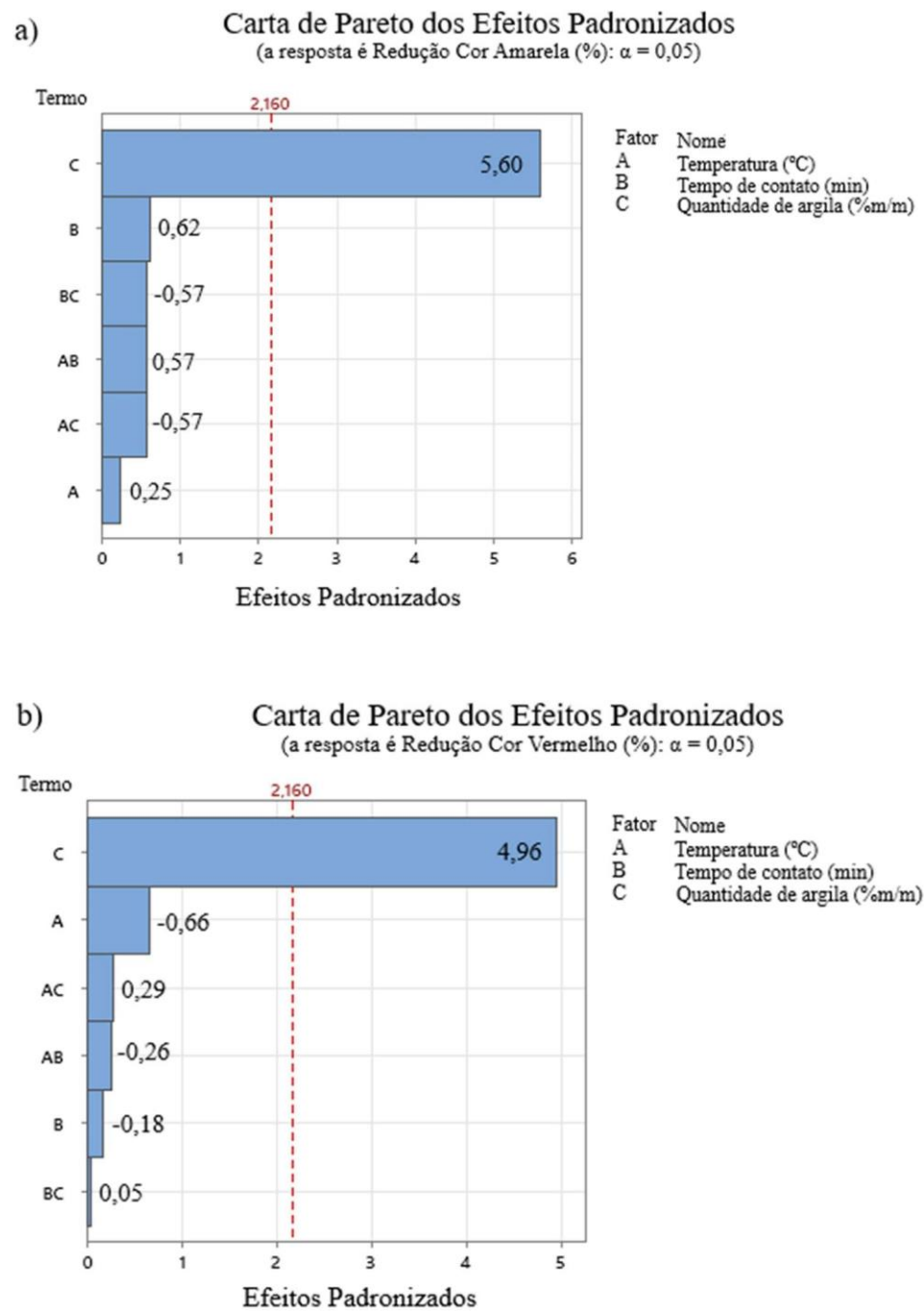
Fator	Coeficiente (Redução Cor Amarela)	Coeficiente (Redução Cor Vermelha)
Temperatura (°C)	0,0107	-0,0212
Tempo de contato (min)	0,0263	-0,0058
Quantidade de argila (%m/m)	0,2373	0,1603
Temperatura (°C) * Tempo de contato (min)	0,0316	-0,0112
Temperatura (°C) * Quantidade de argila (%m/m)	-0,0316	0,0121
Tempo de contato (min)* Quantidade de argila (%m/m)	-0,0316	0,0023

Fonte: o autor (2025).

Conforme disposto na Tabela 4, o coeficiente da quantidade de argila é positivo e apresenta o maior valor absoluto tanto para a redução percentual da cor amarela quanto para a vermelha. Isso indica que o aumento na quantidade de argila promove uma maior redução da cor, reforçando a importância do processo de adsorção de impurezas pela argila branqueadora

bentonita. Tais impurezas, presentes no sebo bovino, exercem influência direta sobre seu aspecto e coloração, e a adsorção contribui significativamente para a melhoria desses atributos. A relevância dos fatores avaliados, é visualmente evidenciada nas cartas de Pareto (Figura 7), calculadas com auxílio do software Minitab.

Figura 7 - Cartas de Pareto dos efeitos padronizados obtidos a partir de um planejamento do tipo DCCR para as respostas de: a) Redução de cor amarela e b) Redução de cor vermelha



Fonte: o autor (2025).

A Figura 7 ilustra o efeito de cada fator avaliado, aqueles que possuem valor acima das linhas vermelhas e tracejadas são considerados relevantes. As cartas de Pareto confirmam que a quantidade de argila (%m/m) é o fator individual que exerce a maior influência estatisticamente significativa na redução das cores amarela e vermelha do sebo bovino, conforme indicado pelos valores padronizados que ultrapassam a linha de significância. Os fatores temperatura (°C) e tempo de contato (min), assim como suas interações binárias, apresentaram efeitos padronizados abaixo do nível de relevância, indicando que não influenciam significativamente as respostas de redução de ambas as cores nas faixas avaliadas.

Embora a temperatura seja um fator intrínseco ao processo de branqueamento e essencial para garantir a eficiente retirada da umidade, condição indispensável para que o processo de adsorção ocorra adequadamente, ela representa um parâmetro que, conforme os resultados obtidos, pode ser mantido constante em 100°C no processo industrial. Essa condição fundamental de desumidificação assegura a base para a eficácia do branqueamento, permitindo que a otimização se concentre nos parâmetros que oferecem maior flexibilidade de ajuste operacional.

Dessa forma, a análise priorizou a quantidade de argila e o tempo de contato, por serem os fatores mais críticos e suscetíveis a controle e alteração no decorrer do processo. A análise do tempo de contato foi relevante nesse contexto devido aos dois pontos de coleta exclusivos do processo em escala industrial, algo que não estava presente nos testes em bancada, que reproduziam apenas a etapa de mistura no branqueador. Com base nessa priorização e na significância desses fatores evidenciada pelos resultados experimentais, a etapa seguinte consistiu na validação desses parâmetros em escala industrial.

4.3 AVALIAÇÃO DOS TESTES EM PROCESSO

Após a realização de ensaios em laboratório, buscou-se a validação dos resultados experimentais em escala industrial, com foco na influência da quantidade de argila e do tempo de contato na redução da cor do sebo bovino. Os testes foram realizados em ciclos de bateladas distintas, e as amostras foram coletadas em pontos estratégicos do processo para uma análise mais detalhada.

4.3.1 Teste inicial

A partir dos resultados experimentais obtidos por meio das ferramentas estatísticas, deu-se início à fase de testes em processo. O objetivo principal foi validar em processo industrial a significância dos fatores quantidade de argila e tempo de contato na redução da cor do sebo bovino, conforme evidenciado nas análises experimentais.

Para tal, a estratégia de validação foi implementada em três ciclos distintos, cada um composto por cinco bateladas, e seguindo a formulação base descrita para a mistura. Dentro de cada ciclo de cinco bateladas, a distribuição da argila branqueadora seguiu um padrão específico: as duas primeiras bateladas utilizaram uma determinada quantidade de argila, enquanto as três bateladas subsequentes empregaram apenas um terço dessa quantidade inicial. Dentro desse escopo, foram testados tempos de contato em três pontos estratégicos: o tempo mínimo, que representou uma redução de 97,37% em relação ao tempo máximo para avaliar o comportamento do processo em condições extremas; o tempo máximo da faixa estudada, definido a partir dos resultados obtidos nos testes em laboratório; e o tempo intermediário que correspondia a 50% da variação total entre esses dois extremos, todos previamente definidos. Amostras foram coletadas em cada uma das cinco bateladas dos três ciclos distintos. Para uma avaliação mais completa, as amostras foram coletadas em dois pontos distintos do processo: após a mistura no branqueador e após o filtro vertical de placas, como demonstrado na Figura 6, apresentada no item 3.5, visando avaliar a cor nesses estágios específicos.

A validação da significância dos fatores foi consolidada através da aplicação desses tempos de contato, e, da utilização de quantidades distintas de argila ao longo do ciclo. Nas duas primeiras bateladas, a quantidade de argila foi superior, permitindo uma validação consistente da influência desse parâmetro em diferentes cenários e reforçando os resultados experimentais. A Tabela 5 apresenta os valores de redução das cores amarela e vermelha obtidos para os tempos de contato distintos testados durante essa fase de validação.

Tabela 5 - Valores de redução percentual de cor (amarela e vermelha) do sebo bovino, após mistura no tanque branqueador, a partir de variação de tempo de contato

Bateladas						
Cor	1	2	3	4	5	Tempo de contato
Amarela	72,15	74,68	49,37	54,43	51,90	Mínimo
	70,89	73,42	54,43	51,90	51,90	Intermediário
	69,62	69,62	56,96	51,90	51,90	Máximo
Vermelha	89,17	89,25	82,80	82,80	82,44	Mínimo
	89,25	88,53	84,95	82,80	81,36	Intermediário
	87,46	87,46	86,02	82,08	82,44	Máximo

Fonte: o autor (2025).

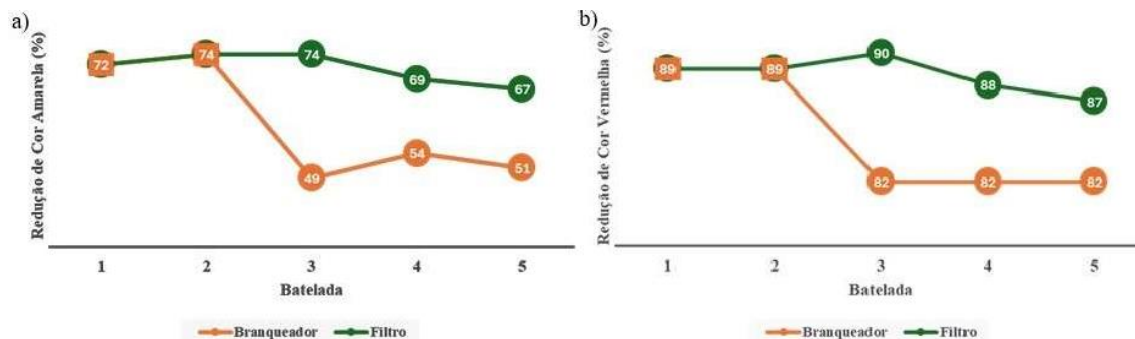
A análise dos dados apresentados na Tabela 5 permite validar em escala industrial os resultados previamente obtidos experimentalmente no que diz respeito à redução da cor do sebo bovino. Observa-se que, para ambas as cores, a variação na redução da cor em função dos tempos de contato distintos testados foi mínima nas bateladas analisadas, o que também foi comprovado em escala laboratorial. Este resultado sugere que, dentro da faixa de tempo estudada, a influência do tempo de contato na eficiência de branqueamento não é significativa sob as condições de processo avaliadas.

De modo contrário, a influência da quantidade de argila demonstrou ser significativa. As duas primeiras bateladas de cada ciclo, que utilizaram a maior quantidade de argila, obtiveram uma maior redução tanto da cor amarela quanto da cor vermelha. Isso reforça a importância da dosagem de argila como um fator essencial na otimização da redução de cor do sebo, confirmando o comportamento esperado a partir dos estudos experimentais iniciais.

Adicionalmente, as análises das amostras coletadas após o filtro vertical de placas revelaram que houve uma redução considerável da coloração do sebo após a passagem por esta etapa de filtração. Este fenômeno levou à descoberta de um efeito de adsorção extra, denominado “*press effect*”, onde a camada de argila formada nas placas do filtro, comumente conhecida como torta, atua como uma coluna de adsorção de leito fixo, permitindo uma segunda etapa de adsorção de impurezas presentes no sebo (List, 2009).

Este efeito complementar contribui significativamente para a melhoria da qualidade final do sebo, otimizando o processo de branqueamento para além da etapa inicial de contato. Os valores de cor antes e após a passagem pelo filtro para o tempo de contato mínimo, evidenciando o impacto do efeito *press effect*, são apresentados na Figura 8.

Figura 8 – Gráfico que representa aumento de redução percentual de: a) cor amarela e b) cor vermelha do sebo bovino antes e após o filtro vertical de placas para um ciclo de 5 bateladas



Fonte: o autor (2025).

A Figura 8 ilustra a redução percentual das cores amarela e vermelha, comparando os resultados após o branqueador e após o filtro vertical de placas ao longo das bateladas. Nas duas primeiras bateladas, a redução de cor após o filtro é igual a obtida pelo branqueador. Isso ocorre porque a torta de argila ainda está em formação no filtro, impedindo que o *press effect* atue de forma significativa.

No entanto, a partir da terceira batelada, observa-se uma redução considerável e consistente da coloração após a passagem pelo filtro, mesmo com a menor quantidade de argila utilizada na etapa do branqueador (bateladas 3, 4 e 5). Essa diferença acentuada entre os valores do branqueador e do filtro demonstra claramente a eficácia do *press effect*. Essa condição de melhora do pós-filtro, atribuída ao *press effect*, manteve-se consistente também para as outras situações de tempo de contato testadas (intermediário e máximo).

Para visualizar a relevância desse efeito e sua aplicação prática, a Figura 9 apresenta imagens das amostras de sebo bovino coletadas antes e após o filtro na batelada 3 (tempo mínimo), evidenciando a atuação do *press effect*.

Figura 9 – Amostras de sebo bovino antes e após o filtro na batelada 3 (tempo mínimo)



Fonte: o autor (2025).

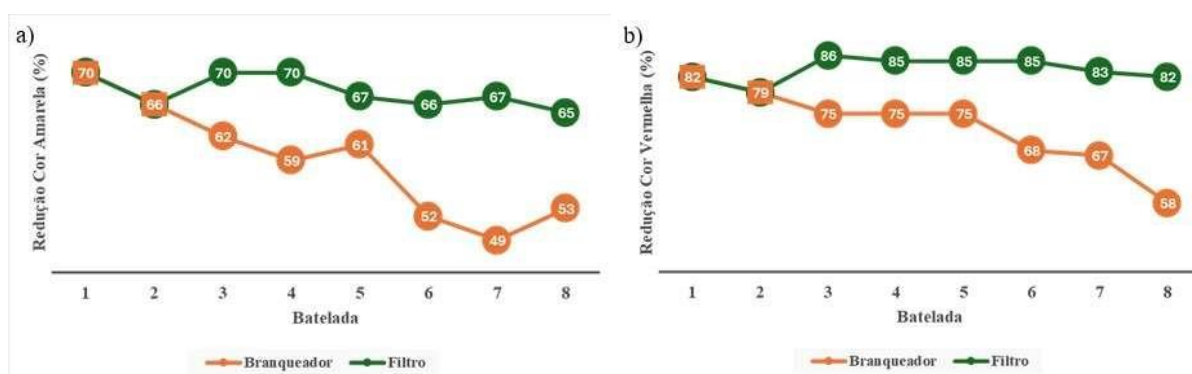
Na Figura 9, onde a imagem à esquerda representa a amostra de sebo antes da filtração e à direita, após a passagem pelo filtro, é visualmente perceptível a significativa redução da coloração do sebo após a etapa de filtração, confirmando o impacto do *press effect*. Essa percepção visual é ratificada pelos resultados quantitativos: para a batelada 3 (tempo mínimo), a cor amarela apresentou uma redução de 49% após a mistura no branqueador, alcançando a marca de 74% após a passagem pelo filtro. De modo análogo, para a cor vermelha, que obteve uma redução de 82% no branqueador, a eficácia do processo foi ampliada, atingindo 90% de redução após o filtro. Com base nos resultados dos testes iniciais, o próximo passo foi avaliar a condição atual de processo.

4.3.2 Condição atual de processo

Considerando a dinâmica do branqueamento e a contribuição do *press effect* demonstrada nos testes iniciais, a próxima fase da avaliação focou na condição atual de processo. Com a constatação de que a variação de tempo de contato não apresentou influência significativa na redução da cor do sebo, o uso do tempo mínimo configurou-se como uma clara oportunidade para futuros ganhos de produtividade. Para analisar essa condição operacional e suas características, foram realizadas coletas de amostras ao longo de um ciclo de oito bateladas, todas conduzidas sob a condição de tempo mínimo, visando avaliar o desempenho do sistema em sua rotina produtiva.

Nesse ciclo, a distribuição da argila seguiu um padrão de redução progressiva: a primeira batelada utilizou uma determinada quantidade de argila branqueadora, a segunda empregou três quartos dessa quantidade inicial, enquanto as bateladas subsequentes (terceira, quarta e quinta) usaram metade da dosagem base, e as três últimas bateladas (sexta, sétima e oitava) foram realizadas com apenas um quarto da quantidade inicial de argila. Além disso, a quantidade de argila utilizada ao longo do ciclo deve respeitar o limite estabelecido para o filtro vertical de placas, para evitar a saturação das placas. Esse fator determina o fim de um ciclo de uma série de bateladas, para após a limpeza do filtro, o início do próximo. A Figura 10 apresenta graficamente a atuação do *press effect* ao longo deste ciclo de oito bateladas.

Figura 10 – Gráfico que representa o aumento de redução percentual de: a) cor amarela e b) cor vermelha do sebo bovino antes e após o filtro vertical de placas para um ciclo de 8 bateladas



Fonte: o autor (2025).

A análise da Figura 10 reforça a importância do *press effect* para o branqueamento, evidenciando sua capacidade de manter a redução das cores amarela e vermelha, até mesmo para ciclos com maior número de bateladas e, conseqüentemente, com menor quantidade de argila nas etapas finais do processo. Esses resultados solidificam a capacidade do *press effect* de estabilizar a cor da gordura, viabilizando a realização de um teste com 12 bateladas, o que proporcionaria um ganho de produtividade ainda mais expressivo para o processo, uma vez que reduziria a frequência de paradas para limpeza dos filtros após o fim de cada ciclo.

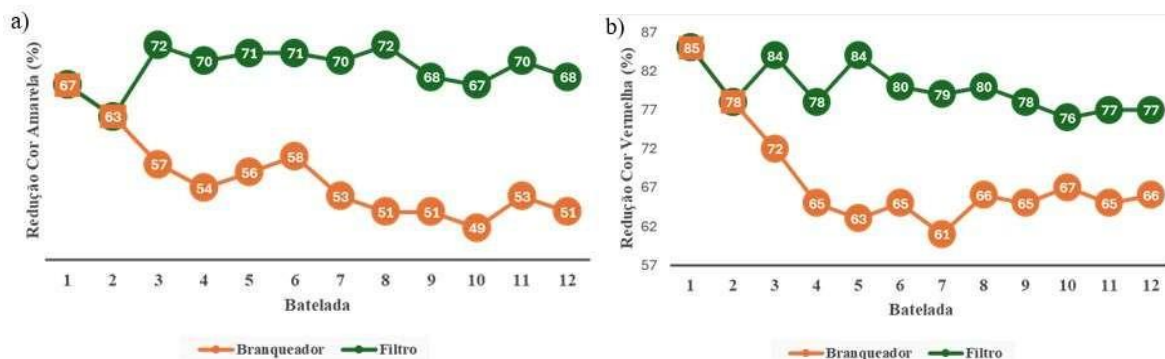
4.3.3 Teste com 12 bateladas

A partir da comprovação de que o *press effect* é capaz de estabilizar a coloração do sebo bovino ao longo dos ciclos, mesmo com a progressiva redução da carga de argila (conforme

observado nos testes de 8 bateladas), vislumbrou-se a oportunidade de estender o ciclo operacional. Assim, foi proposto um teste em um ciclo de 12 bateladas, mantendo o tempo de contato mínimo já otimizado. Neste ciclo, a distribuição de argila ocorreu da seguinte forma: a primeira batelada operou com uma quantidade específica, a segunda utilizou metade dessa carga, e as bateladas subsequentes, da terceira à décima segunda, empregaram um quarto da quantidade inicial.

Este novo patamar de bateladas corresponde ao limite máximo de argila que o filtro suporta antes de suas placas saturarem, devido ao acúmulo excessivo e contínuo de argila que entope os espaços e tecidos filtrantes das placas do filtro. A implementação desse ciclo estendido traria um ganho de produtividade expressivo para o processo, pois um maior número de bateladas entre as paradas operacionais obrigatórias para a limpeza do filtro resultaria na redução significativa da frequência dessas interrupções. A Figura 11 apresenta graficamente a atuação do *press effect* ao longo do ciclo de 12 bateladas.

Figura 11 - Gráfico que representa o aumento de redução percentual de: a) cor amarela e b) cor vermelha do sebo bovino antes e após o filtro vertical de placas para um ciclo de 12 bateladas



Fonte: o autor (2025).

A análise da Figura 11 demonstra que, mais uma vez, o *press effect* atuou de forma eficaz, estabilizando a redução das cores amarela e vermelha em níveis adequados ao longo de todo o ciclo de 12 bateladas, inclusive para o cenário de maior número de bateladas e, consequentemente, com menor quantidade de argila ao longo de grande parte do ciclo.

Para representar a qualidade da gordura final que segue para a saponificação nos tanques de armazenamento, foi realizada uma mistura homogênea das amostras coletadas de cada batelada, tanto do teste para o ciclo de 8 quanto do de 12 bateladas, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Aspecto visual da cor final do sebo bovino (mistura dos ciclos de 8 e 12 bateladas)



Fonte: o autor (2025).

Ao analisar a Figura 12, onde a mistura do ciclo de 8 bateladas é apresentada à esquerda e a do ciclo de 12 bateladas à direita, observa-se que visualmente a cor da gordura é muito semelhante. Quantitativamente, a mistura do ciclo de 8 bateladas apresentou uma redução de 72,15% para a cor amarela e 82,08% para a cor vermelha. Por sua vez, a mistura do ciclo de 12 bateladas obteve uma redução de 74,68% para a cor amarela e 83,15% para a cor vermelha. Tanto visualmente quanto pelos dados quantitativos apresentados, demonstra-se que o *press effect* é capaz de estabilizar a cor final do produto, mesmo diante da extensão do ciclo e da progressiva redução da quantidade de argila.

Diante dos resultados obtidos, traçou-se um novo objetivo, que consistiu em implementar no procedimento operacional do branqueamento a configuração de 12 bateladas e o tempo de contato mínimo testado. Essa padronização busca promover ganhos potenciais significativos, evidenciando um aumento da produtividade e da eficiência operacional.

4.4 GANHOS POTENCIAIS DO PROJETO

A implementação do processo de branqueamento otimizado, com base nos testes e validações realizadas, culminará em ganhos potenciais significativos para o processo, após a sua aplicação. O principal deles está relacionado ao aumento do número de bateladas por ciclo de 8 para 12, que já resultará na redução do número de paradas para a limpeza do filtro, que ocorre ao final de cada ciclo. Essa redução na frequência de interrupções operacionais aumentará diretamente a produtividade do processo, disponibilizando uma maior quantidade de

gordura branqueada para a etapa de saponificação e, conseqüentemente, para a produção do sabonete em barra, que é o produto final. Além disso, a adoção do tempo de contato mínimo testado, otimiza ainda mais o ciclo produtivo e contribui diretamente para o ganho de produtividade.

Adicionalmente, considerando que um ciclo de branqueamento utiliza uma quantidade fixa de argila e de perlita, a extensão do ciclo para 12 bateladas implicará em uma redução anual de 25,97% no consumo desses insumos, reduzindo assim os custos de processo. Isso se traduzirá em menor utilização de argila branqueadora e de perlita por quilo de sebo branqueado. Do ponto de vista ambiental, haverá a diminuição do consumo desses materiais e uma menor geração de resíduos, contribuindo para um processo mais sustentável.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho evidenciou a eficácia da aplicação da técnica de planejamento de experimentos e testes em escala industrial para a otimização do processo de branqueamento de sebo bovino na manufatura de sabonetes em barra. A metodologia empregada permitiu uma análise aprofundada dos fatores críticos do processo.

Durante a fase experimental, foi confirmada a significância da quantidade de argila na redução da cor do sebo, enquanto o tempo de contato demonstrou não ser um fator influente dentro da faixa estudada. Essas constatações foram importantes para direcionar as estratégias de otimização. Adicionalmente, os testes em processo revelaram a existência do "*press effect*", um fenômeno de adsorção adicional que ocorre na torta de argila formada no filtro vertical de placas.

A validação do *press effect* em ciclos de 5, 8 e 12 bateladas demonstrou sua capacidade de estabilizar a coloração final do sebo, mesmo diante do aumento no número de bateladas e da progressiva redução da quantidade de argila utilizada. A viabilidade de operar com o tempo de contato mínimo, aliado à estabilidade da cor proporcionada pelo *press effect*, permitiu vislumbrar a oportunidade de estender o ciclo produtivo para 12 bateladas, correspondendo ao limite de capacidade do filtro.

Em síntese, este estudo contribuiu significativamente para a otimização operacional do processo de branqueamento. A padronização para um ciclo de 12 bateladas com tempo de contato mínimo apresenta ganhos potenciais expressivos, que incluem: o aumento da produtividade pela redução das paradas para limpeza do filtro, a menor utilização de argila branqueadora por quilo de sebo branqueado, e a redução do uso de perlita, utilizada após o fim do ciclo; além da diminuição da geração de resíduos, promovendo um processo mais eficiente e sustentável. A continuidade do monitoramento das mudanças implementadas será essencial para sustentar os ganhos potenciais calculados e garantir a qualidade do produto a longo prazo.

A realização deste trabalho foi de suma importância para o desenvolvimento do autor como futuro engenheiro químico, proporcionando um profundo entendimento do processo industrial de forma geral, aprimorando a capacidade de relacionamento interpessoal com diversos profissionais e qualificando o manuseio em ambiente laboratorial.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, O. J.; CARDOSO, Á. A. Utilização do controle estatístico de processo atrelado às ferramentas da qualidade no monitoramento do peso das embalagens do produto final: um estudo de caso em uma indústria química. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 65241-65257, 2020.
- APOLINARIO, C. D. M. Um guia para planejamento e análise de experimentos na área educacional. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2023.
- ASGARI, S.; SAHARI, M. A.; BARZEGAR, M. Ultrasound-assisted bleaching of olive oil: kinetics, isotherms and thermodynamics. **Journal of food engineering**, v. 224, p. 37-44, 2018.
- ATHIRA, K. R.; SIFANA, P. I.; MENON, S. Science and Technology of Fats and Lipids. In: **Handbook of Biomass**. Singapore: Springer Nature Singapore, p. 1-27, 2023.
- BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. Ed. UFSC, 2008.
- BOMFIM, A. P.; ORTOLAN, S. A.; JÚNIOR, J. M. R.; NETO, J. M. A.; FRACAROLLI, R. L. A Aplicação de Tecnologias Emergentes na Otimização de Processos Industriais: Revisão Bibliográfica. **Prospectus (ISSN: 2674-8576)**, v. 6, n. 2, p. 440-472, 2024.
- BREANCINI, G. **Filtração da cerveja: descrição, equipamentos e estudos de casos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso.
- BROOKS, D. D.; BERBESI, R.; HODGSON, A. S. Optimization of bleaching process. **AOCS lipid library**, 2019.
- BUTTON, S. T. Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados, 2016.
- CHAVES, M. S.; ALVES FILHO, J. R.; BENDER, S. Desenvolvimento de sabonete em barra natural contendo óleos essenciais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e215111537249-e215111537249, 2022.
- CHEN, Hujian et al. Preparation of bentonite/chitosan composite for bleaching of deteriorating transformer oil. **Polymers**, v. 12, n. 1, p. 60, 2020.
- CHEW, S. C.; TAN, C. P.; NYAM, K. L. Optimization of bleaching parameters in refining process of kenaf seed oil with a central composite design model. **Journal of food science**, v. 82, n. 7, p. 1622-1630, 2017.
- CHIRANI, M. R.; KOWASARI, E.; TEYMOURIAN, T.; RAMAKRISHNA, S. Environmental impact of increased soap consumption during COVID-19 pandemic: Biodegradable soap production and sustainable packaging. **Science of the Total Environment**, v. 796, p. 149013, 2021.
- CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA-IV REGIÃO. Saneantes: A História do Sabão. Disponível em: <https://www.crq4.org.br/?p=texto.php&c=quimica_viva_saneantes_prodquim>.

DAL BELLO, L. H. A. Modelagem em experimentos mistura-processo para otimização de processos industriais. 2010. PhD Thesis. Doctoral Thesis, PUC, Rio de Janeiro.

DUARTE, J. C.; VIEIRA, R. P. Optimization of fat bleaching in soap production: from laboratory to industrial scale. **Chemical Papers**, v. 74, n. 1, p. 209-215, 2020.

FERREIRA, B. M. S.; SILVA, M. A. G.; ROSA, A. F. P.; BEMVENUTI, R. H. Determinação do tempo padrão de produção em uma indústria do setor da saúde do rio grande do sul. **Revista Prociências**, v. 5, n. 2, p. 49-67, 2022.

FERREIRA, I. F.; ALVES, K. D. S.; ANDRADE, Â. L.; DOS SANTOS, V. M. R. A produção artesanal do sabão nas perspectivas histórica, ambiental e educativa no ensino da química. **Além dos Muros da Universidade**, v. 7, n. 1, p. 10-16, 2022.

FERREIRA, P. G.; FOREZI, L. S. M.; SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F. Aqui tem química: supermercado Parte I. Óleos e gorduras. **Revista Virtual de Química**, v. 14, p. 185-199, 2022.

GOETSCH, D. L.; DAVIS, S. B. Quality management for organizational excellence: Introduction to total quality. **pearson**, 2016.

HAIR, J. J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. Multivariate Data Analysis (Eighteen E). **Cengage**, 2019.

HE, H.; XU, E.; QIU, Z.; WU, T.; WANG, S.; LU, Y.; CHEN, G. Phenol adsorption mechanism of organically modified bentonite and its microstructural changes. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1318, 2022.

HUDA, M. S.; WILSON, P.; SARKER, N. C.; MONONO, E. Optimizing Bleaching Process Parameters of Distillers Corn Oil for edible applications using a response surface methodology. **LWT**, v. 212, p. 116991, 2024.

JANKOVIC, A.; CHAUDHARY, G.; GOIA, F. Designing the design of experiments (DOE) – An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems. **Energy and Buildings**, v. 250, p. 111298, 2021.

KIDANE, S. W. Application of response surface methodology in food process modeling and optimization. In: *Response surface methodology in engineering science*. IntechOpen, 2021.

KIKUGAVA, C. K.; SOBREIRA, I. P. Aplicação de Planejamento de Experimentos para análise de parâmetros em uma linha de perfumes em uma empresa de cosméticos, 2022.

KHOSROWPOUR, Z.; NASROLLAHI, S. A.; SAMADI, A.; AYATOLLAHI, A.; SHAMSIPOUR, M.; RAJABI-ESTERABADI, A.; YADANGI, S.; FIROOZ, A. Skin biophysical assessments of four types of soaps by forearm in-use test. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v. 21, n. 7, p. 3127-3132, 2022.

LIST, Gary R. (Ed.). **Bleaching and purifying fats and oils: theory and practice**. Elsevier, 2009.

MATOS, A. P. D. Desempenho de nanomateriais na degradação fotocatalítica da Rodamina B sob radiação solar, 2024. Dissertação.

MELO FILHO, C. B. A. **Redução de perdas de sebo bovino utilizando PDCA em processo de manufatura de sabão em barra**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso.

MOMESSO, V. M. Extração e caracterização de óleo de castanha de sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess.) visando sua aplicação como triglicerídeo dietético. 2024.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. John wiley & sons, 2017.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 10. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2020.

MOURA, G. S.; PEDROSA, S. M. P. A. Programa A Química do Fazer Sabão. **Guia Didático do Professor**. Puc-RJ, 2020.

MUKASA-TEBANDEKE, I. Z.; SSEBUWUFU, P. J. M.; NYANZI, S. A.; NYAKAIRU, G. W.; NTALE, M.; LUGOLOBI, F.; SCHUMANN, A. Adsorption behavior of acid-leached clays in bleaching of oil, 2015.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C.; ANDERSON-COOK, C. M. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments**. John Wiley & Sons, 2016.

OLIVEIRA, M. M.; GONÇALVES, M. F. S. Perspectivas do óleo residual de fritura: uma abordagem econômica, jurídica e socioambiental. **Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 25) Año 2016**.

OLIVEIRA, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A. N.; OLIVEIRA, S. T.; SOARES, A. M. F.; OLIVEIRA, E. J. A.; SILVA, N. G.; ARAÚJO, R. P. Aplicação da Análise de Pareto através de um experimento fatorial para o coeficiente de capacidade (Cdl*) – um estudo de caso relacionado à grandeza torque. **Brazilian Journal of Development**, 2021, 7.1: 7396-7412.

OLIVEIRA, D. L.; OLIVEIRA, I. P.; SOUZA, N. A. T.; TESCAROLLO, I. L. Aplicação de polímeros naturais e óleo essencial de bergamota na formulação de sabonetes. **Revista Ensaios Pioneiros**, v. 8, n. 1, 2024.

OLU-OWOLABI, B. I.; ALABI, A. H.; UNUABONAH, E. I.; DIAGBOYA, P. N.; BÖHM, L.; DÜRING, R. A. Calcined biomass-modified bentonite clay for removal of aqueous metal ions. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 1, p. 1376-1382, 2016.

PATRICIO, J. S.; HOTZA, D.; DE NONI JÚNIOR, A. Argilas adsorventes aplicadas à clarificação de óleos vegetais. **Cerâmica**, v. 60, p. 171-178, 2014.

PENTEADO, R. B. Utilização de técnicas do planejamento de experimentos na otimização de um processo de torneamento da superliga NIMONIC 80A, 2011.

PIMENTA, R. F. **Aplicação do planejamento de experimento fatorial fracionado para análise da rugosidade em impressão 3D**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

PRIETO VIDAL, N.; ADESEUN ADIGUN, O.; PHAM, T. H.; MUMTAZ, A.; MANFUL, C.; CALLAHAN, G.; STEWART, P.; KEOUGH, D.; THOMAS, R. H. The effects of cold saponification on the unsaponified fatty acid composition and sensory perception of commercial natural herbal soaps. **Molecules**, v. 23, n. 9, p. 2356, 2018.

REIS, I. F. A.; SILVESTRE, M. E.; GUIMARÃES, V. J. T.; FIGUEIREDO, M. A. C.; CASTRO, A. L. P.; ALVES, K. S. Sabão artesanal: Alternativa para reduzir o descarte de óleos e gorduras na água. **Revista Brasileira de Extensão Universitária**, v. 14, n. 3, 2023.

RIBEIRO, J. C. R. D. C. Argila bentonítica aplicada na clarificação de óleos vegetais: influência do tempo e da temperatura na eficiência da ativação com H₂SO₄, 2024.

RILLING, K. Precoat filter aids can reduce wastewater treatment costs. **Environ. Sci. & Eng. Magazine**, 2014.

RUNDLE, C. W.; PRESLEY, C. L.; MILITELLO, M.; BARBER, C.; POWELL, D. L.; JACOB, S. E.; ATWATER, A. R.; WATSKY, K. L.; YU, J.; DUNNICK, C. A. Hand hygiene during COVID-19: recommendations from the American Contact Dermatitis Society. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 83, n. 6, p. 1730-1737, 2020.

SANTOS, A. P.; POZZETTI, J. V. T.; MORAES, P. A. V.; AVELINO, C. H. Utilização da ferramenta Diagrama de Pareto para auxiliar na identificação dos principais problemas nas empresas. **Recuperado de <https://unisalesiano.com.br/aracatuba/wp-content/uploads/2020/12/Artigo>**, 2020.

SEDAGHAT BOROUJENI, L.; GHAVAMI, M.; PIRAVI VANAK, Z.; GHASEMI PIRBALOUTI, A. Optimizing the simultaneous effect of change in bleaching parameters on the quality of sunflower oil using response surface methodology (RSM). **Innovative Food Technologies**, v. 8, n. 1, p. 83-95, 2020.

SHAHIDI, F. Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Products and Applications Edible Oil and Fat Products, 6-th Ed, 2015.

SILVA FILHO, S. H.; VINACHES, P.; PERGHER, S. B. C. Caracterização estrutural da perlita expandida. **Perspect Erechim**, v. 41, p. 81-87, 2017.

SILVA, C. C. **Análise da variância (ANOVA) na otimização de processos industriais**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso.

SILVA, K. P. F.; SOUZA, A. F. Avaliação do potencial antimicrobiano de sabonetes antissépticos em barra. **Revista Saúde e Biociências**, v. 2, n. 1, 2020.

SIRQUEIRA, T. F. M.; MIGUEL, M. A.; DALPRA, H. L. O.; ARAÚJO, M. A. P. Aplicação de Métodos Estatísticos em Engenharia de Software: Teoria e Prática, 2020.

SOARES, J. A. Características químicas do óleo de palma coletado no centro-oeste e norte do Brasil. 2024. Dissertação.

SOUSA, Â. M.; OLIVEIRA, E. A.; VENÂNCIO, E. B.; SOUZA, G. R.; ALMEIDA, M. V. S.; PEREIRA, R. M.; SILVA, M. F. Comparação e Estudo do Controle de Qualidade do Sabão/Sabonete à Base de Óleo de Coco, Palma, Oliva e do Sabonete Industrial. **Artigo Científico**. São Paulo: ETEC Irmã Agostina, 2023. Disponível em: Repositório Institucional do Conhecimento - RIC-CPS.

SPITZ, L. (Ed.). **Soap manufacturing technology**. Elsevier, 2016.

VAN DUIJN, G. Fate of contaminants during the refining process of vegetable oils and fats: A calculation model. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 118, n. 3, p. 353-360, 2016.

VIEIRA, J. S. C.; RODRIGUES, M. R. M.; CASTRO, W. S.; SOUSA, J.A.; CAVALCANTE, D. S.; MAGALHÃES, A. N.; SILVA, A. J. S.; RIBEIRO, A. S.; MOURA, L. S.; CARVALHO, E. C. Caracterização físico-química de sebo bovino para a obtenção de sabonetes. In: Anais do 59º Congresso Brasileiro de Química, João Pessoa, PB. Associação Brasileira de Química, 2019.

VIEIRA, J. S. C.; SOUSA, J. A.; RODRIGUES, M. R. M.; SILVA, J. V.; SILVA, F. M.; PEREIRA, E. C. Refino de sebo bovino e óleo de babaçu (*orbignya speciosa*) visando a produção de sabonetes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65888-65902, 2020.