



INSTITUTO FEDERAL
Goiano

BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

***LEAN SEIS SIGMA NA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE SOJA:
ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E
OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DO FARELO***

MARIA EDUARDA DA COSTA SILVA

RIO VERDE, GO

2025

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO, CÂMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

***LEAN SEIS SIGMA NA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE SOJA:
ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E
OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DO FARELO***

MARIA EDUARDA DA COSTA SILVA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Goiano, Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Dr. Rogério Favareto

RIO VERDE, GO

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

S586l Silva, Maria Eduarda da Costa
LEAN SEIS SIGMA NA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE SOJA:
ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E
OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DO FARELO / Maria
Eduarda da Costa Silva. Rio Verde 2025.

42f. il.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Favareto.

Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220354 -
Bacharelado em Engenharia Química - Integral - Rio Verde
(Campus Rio Verde).

1. Indústria de soja. 2. Gestão da qualidade. 3. Melhoria
contínua. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☐ Monografia (especialização)
☒ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Maria Eduarda da Costa Silva

Matrícula:

2020102203540341

Título do trabalho:

LEAN SEIS SIGMA NA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE SOJA: ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DO FARELO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☐ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
MARIA EDUARDA DA COSTA SILVA
Data: 28/08/2025 22:05:57-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Rio Verde

Local

27 / 8 / 2025

Data

Assinatura



Documento assinado digitalmente

ROGERIO FAVARETO

Data: 28/08/2025 22:11:57-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

utorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 66/2025 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos vinte e sete dias do mês de agosto de 2025, às 19 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Prof. Dr. Rogério Favareto, Profa. Dr^a. Jakeline Fernandes Cabral e Eng. Glayce Rayssa Ferreira de Lima, para examinar o Trabalho de Curso intitulado "LEAN SEIS SIGMA NA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE SOJA: ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DO FARELO " da estudante MARIA EDUARDA DA COSTA SILVA, Matrícula nº 2020102203540341 do Curso de Bacharelado em Engenharia Química do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)
Dr. Rogério Favareto
Orientador

(Assinado Eletronicamente)
Dra. Jakeline Fernandes Cabral
Membro

Documento assinado digitalmente
 GLAYCE RAYSSA FERREIRA DE LIMA
Data: 27/08/2025 20:21:38-0300
Verifique em <https://validar.jfi.gov.br>

Esp. Glayce Rayssa Ferreira de Lima
Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rogério Favareto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 27/08/2025 19:57:58.
- **Jakeline Fernandes Cabral, 2021102200240610 - Discente**, em 27/08/2025 20:01:01.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 737431

Código de Autenticação: 5a16e2c81a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO. CEP 75901-970

(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me guiar, proteger e iluminar meu caminho ao longo de toda a minha vida, e ao meu anjo da guarda, que esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo força, coragem e direção mesmo nas dificuldades.

Sou profundamente grata aos meus pais e avós, cujo amor, dedicação e apoio incondicional sempre foram fundamentais para minha formação e crescimento pessoal. Mesmo com a distância que nos separa em alguns momentos, sentir seu carinho e confiança me fortaleceu e me motivou a seguir em frente, acreditando em meus sonhos. À minha irmã, meu amor incondicional, agradeço por ser fonte de inspiração, alegria e incentivo, fazendo-me querer ser uma pessoa melhor a cada dia.

Agradeço também ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, que proporcionou um ambiente de aprendizado rico, com recursos, laboratórios e oportunidades. Aos professores e funcionários, meu sincero reconhecimento pelo apoio, orientação e dedicação, que contribuíram significativamente para minha formação acadêmica e profissional.

Por fim, agradeço aos amigos, familiares e colegas de trabalho, que, de diferentes formas, estiveram presentes em minha trajetória, oferecendo apoio, incentivo, críticas construtivas e momentos de descontração, que tornaram este percurso mais leve e motivador. Cada gesto de ajuda e palavra de incentivo foi essencial para superar desafios e alcançar este momento de conquista.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seis Sigma – DMAIC	16
Figura 2 – Fluxograma preparação.....	22
Figura 3 – Soja Quebrada.....	23
Figura 4 – Quebradores de soja.....	24
Figura 5 – Soja laminada.....	25
Figura 6 – Laminadores de soja	26
Figura 7 – Fluxograma extração.....	27
Figura 8 – Extrator CROWN (fluxo de produto)	28
Figura 9 – Mecanismo da extração	29
Figura 10 – Farelo Branco (pós extrator)	29
Figura 11 – DT (Desolventizador-Tostador).....	31
Figura 12 – Farelo Final	32
Figura 13 – Desvio padrão antes das ações	33
Figura 14 – Diagrama Espinha de Peixe	34
Figura 15 – Comparativo do amostrador de Farelo.....	35
Figura 16 – Step teste malha do secador	35
Figura 17 – Resposta do controlador e estabilidade da malha	36
Figura 18 – Parâmetros da malha de controle	36
Figura 19 – Carta de Controle	37
Figura 20 – Comparativo de Diferença de preparação e expedição	37
Figura 21 – Comparativo de Diferença de preparação e expedição	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 SOJA <i>GLYCINE MAX (L.) MERRIL</i>	14
2.2 LEAN SEIS SIGMA.....	14
2.2.1 Metodologia Seis Sigma.....	14
2.2.2 Método DMAIC	15
2.3 MALHA DE CONTROLE DE PRESSÃO	17
2.4 CARTA DE CONTROLE	19
2.5 PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA E FARELO DE SOJA.....	21
2.5.1 Preparação	21
2.5.1.1 Pré-limpeza.....	22
2.5.1.2 Quebradores	23
2.5.1.3 Descascagem	24
2.5.1.4 Condicionamento	24
2.5.1.5 Laminadores	25
2.5.2 Extração.....	26
2.5.2.1 Extrator.....	27
2.5.2.2 Destilaria: evaporadores e stripper	29
2.5.2.3 Desolventizador-Tostador (DT)	30
2.5.2.4 Secagem e resfriamento do farelo	31
3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	33
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

RESUMO

O presente estudo analisa as rotinas operacionais de preparação e extração de uma empresa sob a abordagem do *Lean Seis Sigma*, com o objetivo de avaliar a eficiência e a sustentabilidade do sistema produtivo na indústria de processamento de soja. A metodologia adotada baseia-se na aplicação do ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), integrada à engenharia de produção química, com ênfase no monitoramento em tempo real e padronização de rotinas operacionais. Os resultados indicam alto controle sobre variáveis críticas do processo, uso eficaz de indicadores de desempenho, controle estatístico e reaproveitamento energético, que contribuem para a maximização do rendimento do farelo e minimização de desperdícios. Destaca-se, ainda, o papel fundamental do engajamento dos operadores e da liderança na manutenção da cultura de melhoria contínua. Conclui-se que a implementação sistemática do *Lean Seis Sigma* configura uma solução viável e eficaz para a otimização operacional, redução de custos e atendimento a requisitos ambientais, sendo passível de replicação em outras unidades do setor agroalimentar.

Palavras-chave: Indústria de soja; Gestão da qualidade; Eficiência energética; Melhoria contínua.

ABSTRACT

This study analyzes the operational routines of preparation and extraction in a company under the Lean Six Sigma approach, aiming to evaluate the efficiency and sustainability of the production system in the soybean processing industry. The adopted methodology is based on the application of the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control), integrated with chemical production engineering, emphasizing automation, real-time monitoring, and standardization of operational routines. The results indicate high control over critical process variables, effective use of performance indicators, statistical control, and energy recovery, which contribute to maximizing meal yield and minimizing waste. Furthermore, the fundamental role of operator engagement and leadership in maintaining a culture of continuous improvement is highlighted. It is concluded that the systematic implementation of Lean Six Sigma constitutes a viable and effective solution for operational optimization, cost reduction, and compliance with environmental requirements, with potential for replication in other units within the agro-food sector.

Keywords: Soybean industry; Quality management; Energy efficiency; Continuous improvement.

1 INTRODUÇÃO

A produção de óleo de soja é essencial tanto no agronegócio do Brasil quanto no panorama industrial mundial. O Brasil é o segundo maior produtor de soja no mundo, gerando mais de 150 milhões de toneladas por safra, das quais uma grande parte é utilizada para o esmagamento e a obtenção de óleo e farelo (GAZZONI, 2023).

Aproximadamente 40% da soja processada no país é transformada em óleo vegetal bruto, refinado ou destinada à fabricação de biodiesel. O restante é convertido em farelo, que é amplamente utilizado na nutrição animal. Esses dois subprodutos como o óleo e farelo são essenciais tanto para o mercado interno quanto para a exportação, solidificando a posição do Brasil como um dos principais exportadores nesse setor (ABIOVE, 2024).

O setor de esmagamento de soja é caracterizado por uma cadeia complexa de etapas técnicas e operacionais que demandam um controle de qualidade rigoroso, a manutenção da eficiência na produção e a minimização de perdas. Desde o recebimento dos grãos até a extração do óleo e a separação do farelo, o processo inclui uma série de ações mecânicas e químicas interligadas, como limpeza, trituração, retirada da casca (*dehulling*), condicionamento, laminação, extração com solventes e secagem dos subprodutos (EMBRAPA, 2024).

Apesar do avanço tecnológico, muitas indústrias ainda enfrentam questões que afetam o rendimento e a qualidade do produto final, como falhas nos processos, flutuações nos parâmetros operacionais e elevado consumo de energia. Esses problemas resultam em perdas financeiras significativas e impactos ambientais relevantes. É estimado que, em algumas fábricas, até 5% do potencial de extração de óleo e farelo seja perdido devido a ineficiências operacionais. Além disso, o gasto com eletricidade e vapor nesses processos corresponde a cerca de 30% do custo operacional total de uma planta de esmagamento, reforçando a urgência por soluções que priorizem a eficiência e a sustentabilidade (BRITO e SILVA, 2023).

Diante desse contexto, práticas de melhoria contínua têm se tornado mais prevalentes, com destaque para metodologias como *Lean Manufacturing* e Seis Sigma. A combinação dessas abordagens, chamada *Lean Seis Sigma*, tem se mostrado eficaz em vários setores industriais e possui um grande potencial de utilização na indústria de esmagamento de soja. O *Lean* foca em reduzir desperdícios e aprimorar o fluxo de trabalho, enquanto o Seis Sigma visa diminuir a variação e melhorar a padronização dos processos. Juntas, essas metodologias promovem uma gestão fundamentada em dados, elevação da qualidade e aumento da produtividade (FERREIRA, 2016).

Mesmo com os progressos na automatização e mecanização do setor, ainda se nota uma significativa ineficiência no uso do farelo de soja nas fábricas brasileiras. A falta de padronização em etapas essenciais, aliada à variação nas operações, resulta em um desempenho inferior ao potencial técnico possível. Assim, a questão que surge é: como implementar a abordagem *Lean Seis Sigma* para melhorar o rendimento do farelo de soja nas plantas de esmagamento, minimizando perdas e aumentando a eficácia do processo.

A relevância deste tema se deve à importância estratégica da soja para o agronegócio brasileiro, ao peso econômico da indústria de esmagamento e ao impacto direto que a eficiência produtiva tem sobre os custos operacionais, a qualidade do produto final e a sustentabilidade ambiental. O uso de ferramentas de melhoria contínua não só pode gerar ganhos financeiros significativos, mas também favorece práticas produtivas mais conscientes, em consonância com as exigências do mercado global e as diretrizes ambientais (BUAINAIN, 2025). Este trabalho busca, portanto, oferecer uma contribuição técnica e de gestão ao setor, apresentando uma proposta embasada em dados, com chances de ser replicada em outras indústrias.

Esta pesquisa é orientada para a experimentação de métodos para transferência do desempenho na produção de farelo de soja, por um método estruturado em direção ao uso mais eficiente dos recursos disponíveis, com particular destaque para a redução das perdas e maximização do rendimento operacional. Fazendo uma análise, ao processo atual, visa-se identificar os principais obstáculos e desperdícios, adquirindo dados que permitem racionalizar melhor as flutuações de desempenho e causa das mesmas.

Orientando-se pelos preceitos da metodologia *Lean Seis Sigma*, utilizando o ciclo DMAIC como norte, a ideia é elaborar orientações que levem a um processo mais eficaz, sustentável e alinhado com os objetivos de excelência industrial.

Considerando a importância econômica, social e ambiental do setor de processamento de soja, torna-se necessário implementar estratégias que aumentem a eficiência, assegurem o controle de qualidade e garantam a sustentabilidade. Este estudo tem como objetivo preencher uma lacuna existente ao aplicar, de maneira prática e quantificável, uma metodologia já estabelecida de aprimoramento contínuo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SOJA *GLYCINE MAX (L.) MERRIL*

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma planta nativa da China, que foi trazida para o Ocidente na segunda metade do século XX. Seu elevado conteúdo de óleo e proteína despertou interesse global, tornando-se um dos grãos mais significativos no panorama agrícola mundial (EMBRAPA, 2005). No Brasil, a produção de soja começou a se expandir de forma marcante após 1970, especialmente devido ao crescimento da indústria de óleos (MALAVOLTA, 2006).

Essa expansão ocorre devido à grande versatilidade do grão, que é amplamente empregado na fabricação de alimentos, ração animal, biocombustíveis e produtos industriais. A soja é apreciada não apenas por seu valor nutricional, que inclui alta qualidade proteica e isoflavonas, mas também pela sua relevância econômica nas cadeias agroindustriais, químicas e energéticas (CARRÃO-PANIZZI; SILVA, 2011; SILVA ET AL., 2011; CONAB, 2009).

Além disso, os avanços no melhoramento genético das variedades de soja têm ajudado a aumentar a produtividade, fornecendo características como resistência a pragas e herbicidas, bem como uma melhor adaptação a diferentes ambientes (CARRÃO-PANIZZI et al., 2012). Esses elementos firmam a soja como uma das culturas mais estratégicas para o agronegócio brasileiro.

Nesse sentido, a soja desempenha uma função crucial no desempenho do agronegócio no país. Segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2016), em colaboração com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2016), o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro cresceu 4,48% em 2016. O setor primário, por outro lado, cresceu 10,12%, estimulado por um aumento de 15,87% nos preços reais da produção, resultando em um crescimento de 1,95% na receita anual advinda da soja.

No contexto internacional, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2017) previu que a produção mundial de soja para a safra 2017/18 chegaria a 344,6 milhões de toneladas, com o Brasil contribuindo com 107 milhões de toneladas o que corresponde a 31,04% do total global, evidenciando sua posição proeminente como produtor e exportador (APROSOJA, 2018).

2.2 LEAN SEIS SIGMA

2.2.1 Metodologia Seis Sigma

A metodologia Seis Sigma surgiu na Motorola, década de 1980, para que a empresa se tornasse mais competitiva frente a organizações estrangeiras que vinham produzindo melhor e com menos dinheiro. Nos anos da década de 1980 até a década de 1990, a empresa registrou lucros de aproximadamente 2,2 bilhões de dólares, legitimando o Seis Sigma como um dos principais responsáveis por resultados significativos e exclusivos (PINHO et al., 2020).

Segundo Biazetto et al. (2019), o Seis Sigma se apoia na identificação e remoção de defeitos nos processos, destacando-se por seu enfoque em características fundamentais para os clientes, sendo considerado por sua ênfase pela melhoria constante da qualidade e pela minimização de defeitos.

Além disso, como ressaltam Rosa et al. (2019), o Seis Sigma evoluiu de uma ferramenta simples de controle da qualidade para um modelo de negócio forte na definição de medidas financeiras.

Nortegubisiano (2018) explica que o nome da metodologia está relacionado à variação natural dos processos produtivos, onde " sigma " representa o desvio padrão; o objetivo é atingir o nível Seis Sigma, que é uma taxa de conformidade superior a 99,9 %, com um máximo de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. No entanto, sua implantação ainda apresenta desafios importantes.

Tais como resistência cultural à mudança, necessidade de participação da liderança, definição de prêmios aos envolvidos e escolha criteriosa dos projetos e dos dados aplicáveis. Por isso, a maior parte das ações na Seis Sigma são realizadas com base no método DMAIC Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, que estrutura e direciona as etapas dos projetos em direção à excelência operacional (QUINELLO, 2020).

2.2.2 Método DMAIC

O ciclo DMAIC surgiu como uma das bases da metodologia Seis Sigma, que se dirige à redução da frequência de não conformidades no processo de produção. Na redução da frequência de falhas, a empresa não apenas ganha tempo, mas também reduz custos de operação, a maior parte da vez com mão de obra, pois a necessidade de paradas para diagnóstico de problemas se torna menos recorrente (YUI, 2021). Os projetos Seis Sigma, cujo pilar fundamental é a aplicação do DMAIC, possuem cinco fases: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, ilustrados na figura 1:

Figura 1 – Seis Sigma – DMAIC



Fonte: Dmaic, 2022.

Os projetos principais desses são estimular a melhoria continuada dos processos através da minimização de defeitos e variabilidades, efetivamente maximizando a eficiência e o desempenho organizacional (FERREIRA et al., 2019). A primeira fase, "Definir", compreende a definição precisa dos objetivos e idealização de métodos para chegar a eles.

A esse respeito, no primeiro estágio, é identificado o problema principal, são definidos os objetivos e é elaborado o processo necessário para obter os resultados almejados. É essencial bem conhecer o problema para que os métodos adotados sejam eficazes e cheguem à solução desejada (FERREIRA et al., 2022).

A segunda fase, "Medir", indica a coleta e análise de dados em torno do desempenho do processo, o que permite a detecção dos primeiros indicativos das causas da problemática e dos pontos críticos que descrevem potenciais oportunidades de melhoria (YUI, 2021). Posteriormente, durante uma fase "Analisar", os dados coletados são analisados com o objetivo de identificar as causas das raízes problemáticas, incluindo tanto os dados como os processos em questão (PEREIRA, 2021).

Já na etapa "Melhorar", busca-se desenvolver e colocar na prática soluções que removam ou diminuam as causas bloqueadas, por meio de iniciativas que tenham impacto imediato nos fatores determinantes. É que aqui se propõe um plano de avaliação das soluções implantadas, para garantir que explorem melhorias eficazes e rigorosas (FERREIRA et al., 2022).

Dada uma etapa "Controlar", como são as melhores inovações que precisam ser monitoradas e controladas a fim de preservá-las a longo prazo, com o fim específico de alcançar

esse objetivo, propõe-se sua implementação de bancos de dados e planos de controle com parâmetros transparentes, garantindo o monitoramento e o desenvolvimento continuado dos processos (ALVES, 2020).

2.3 MALHA DE CONTROLE DE PRESSÃO

A automação industrial tem evoluído significativamente nas últimas décadas, proporcionando ganhos substanciais de eficiência, produtividade e segurança aos processos industriais (AMÉRICO et al., 2011). A aplicação de sistemas automatizados de controle, como o controle de pressão, tornou-se indispensável principalmente em setores que exigem rigoroso controle de variáveis críticas pressão, temperatura, umidade, vazão etc. garantindo a qualidade do produto final, a integridade dos equipamentos e a redução de desperdícios (FAVARO, 2012).

Em processos industriais de secagem, como nos secadores rotativos utilizados na indústria de esmagamento de soja, a precisão no controle das variáveis é fundamental. Nessas aplicações, a pressão e a vazão do ar são muitas vezes controladas por sistemas automatizados de malha fechada, que se baseiam no princípio do feedback. Neste tipo de sistema, sensores monitoram continuamente a variável controlada por exemplo, a pressão dentro do secador, enviando estas informações ao controlador. O controlador, por sua vez, compara o valor medido ao setpoint (valor de referência definido pelo operador) e ajusta automaticamente a atuação de elementos como ventiladores ou válvulas, buscando eliminar o erro e manter a variável na condição ótima (OLIVEIRA, 1999; BEGA et al., 2006).

Segundo Bega et al., (2006), os sistemas de controle podem ser classificados entre malha aberta, onde não há realimentação da variável, e malha fechada, em que a saída do processo influencia diretamente a ação de controle, tornando o ajuste dinâmico e robusto frente a perturbações internas e externas. No contexto do secador rotativo, o controle da pressão muitas vezes se dá por meio de ajustes na rotação do ventilador ou de dampers, que modulam a entrada e saída de ar, influenciando tanto a pressão interna quanto a eficiência da secagem do produto.

O algoritmo de controle mais empregado na indústria, devido à sua robustez e simplicidade operacional, é o PID (Proporcional-Integral-Derivativo), com destaque para sua utilização nas versões PI ou PID (ASTROM; HAGGLUND, 2001; ISERMANN, 1989). No setor de processamento de soja, por exemplo, o controle automatizado da ventilação por meio de um controlador PI mostrou-se altamente superior ao controle manual realizado por operadores experientes, promovendo maior estabilidade da umidade do produto final, redução de defeitos e menor desvio padrão (CASTROIXA et al., 2024).

Tais avanços foram possíveis graças à identificação da dinâmica do processo, através do método da Curva de Reação, aliado à sintonia apropriada dos parâmetros do controlador (método de Cohen e Coon), assegurando respostas mais rápidas e precisas mesmo diante de variações de carga ou distúrbios inesperados (CASTROIXA et al., 2024).

No caso estudado por Castroixa et al., (2024), o controle automatizado da rotação do ventilador responsável pela circulação do ar no secador permitiu um ajuste consistente do teor de umidade da soja na saída. Isso porque, ao atuar sobre a velocidade do ventilador, o sistema regula indiretamente a pressão interna e a taxa de remoção de umidade do produto. Apesar do foco do trabalho ser o controle da umidade, os princípios e estratégias descritos sobre controle em malha fechada, uso de sensores, sintonia de controladores e análise dinâmica do processo são inteiramente aplicáveis ao controle de pressão em secadores rotativos de diferentes segmentos industriais.

O secador rotativo é amplamente utilizado na indústria agrícola e de processamento para a secagem eficiente de materiais granulados, como cavacos e grãos. Trata-se de um equipamento de geometria cilíndrica inclinada, que gira em torno de seu eixo longitudinal, promovendo o transporte do material a ser seco através de um helicóide interno enquanto o ar quente circula pelo seu interior para promover a secagem por contato direto adiabático (GUINZELLI et al., 2017).

Do ponto de vista do projeto e funcionamento, o secador rotativo possui comprimento entre quatro a dez vezes seu diâmetro, o que favorece o controle do tempo de residência do produto e a eficiência do processo de secagem. Guinzelli et al., (2017) ressalta que o fluxo de ar quente é geralmente direcionado através do secador com o auxílio de exaustores ou ventiladores, podendo ser aquecido por caldeiras ou queima de combustível, como carvão vegetal. A automação do processo é comum, facilitando o controle automático do giro e da alimentação do secador.

Estudos acadêmicos destacam que o secador rotativo é valorizado pela sua versatilidade, facilidade de operação e baixo custo de implantação e manutenção em comparação a outros tipos de secadores. Além disso, modificações técnicas recentes, como a redistribuição do fluxo de ar para otimizar o contato com o material e reduzir perdas energéticas, resultaram em menor consumo de energia elétrica e térmica, sem comprometer a qualidade do produto final. Esse tipo de secador é ideal para materiais com granulometria adequada, que permite um fluxo livre e eficiente dentro do equipamento (RODRIGUES et al., 2019).

Conforme os autores supracitados no último parágrafo na literatura acadêmica, também são abordados aspectos fundamentais da secagem, incluindo a transferência simultânea de

massa e energia, e como as condições internas e externas do material influenciam o processo. Modelos para a distribuição do tempo de residência, análise energética e custo, bem como diferentes tipos de "flights" (pás internas), são partes importantes no projeto e otimização dos secadores rotativos para diversas aplicações específicas.

A automação industrial aplicada aos secadores rotativos tem promovido avanços significativos na eficiência e controle dos processos de secagem, especialmente na indústria agrícola. A utilização de sistemas automatizados de malha fechada, associados a sensores e controladores PID, possibilita o monitoramento em tempo real de variáveis críticas como pressão, vazão e temperatura do ar, garantindo condições ideais para a secagem do material. Essa automação assegura maior estabilidade do processo, reduz perdas energéticas, melhora a qualidade do produto final e prolonga a vida útil dos equipamentos (RODRIGUES et al., 2019).

O design dos secadores rotativos, com seu cilindro giratório e fluxo de ar quente ajustável, aliado a estratégias avançadas de controle automático, permite otimizar a transferência de massa e energia, adaptando-se a variações do processo e garantindo resultados consistentes em diferentes aplicações industriais (RODRIGUES et al., 2019).

2.4 CARTA DE CONTROLE

As cartas de controle são ferramentas estatísticas essenciais para monitorar e controlar a variação de processos, sendo amplamente utilizadas em diferentes setores para garantir a qualidade e a estabilidade operacional (MORAES e AMARAL, 2023).

Elas consistem em gráficos que exibem dados do processo ao longo do tempo, acompanhados por limites superiores e inferiores de controle que indicam a variação aceitável do processo. Quando os dados ultrapassam esses limites, significa que o processo pode estar fora de controle e é necessário investigar e tomar medidas corretivas para corrigir causas especiais, como alterações em matérias-primas, operação ou mão de obra (MORAES e AMARAL, 2023).

Segundo Amaral (2023), a base teórica das cartas de controle parte da premissa de que os processos naturais apresentam variações aleatórias intrínsecas, causadas por diversos fatores. As cartas de controle permitem diferenciar essas variações comuns de variações especiais que indicam problemas a serem resolvidos. Essas ferramentas são classificadas em dois tipos: cartas para variáveis, que lidam com dados quantitativos contínuos, e cartas para atributos, que avaliam características qualitativas ou contagem de defeitos.

No contexto da gestão da qualidade, o uso das cartas de controle possibilita a antecipação de problemas, economia de tempo e recursos, além de assegurar que os processos produzam resultados dentro das especificações desejadas pelo cliente ou organismo regulador (SANTOS e CASAGRANDE, 2021). Para sua construção, há a necessidade de um planejamento detalhado, que inclui a definição dos processos, variáveis a serem controladas, materiais a serem monitorados e a escolha do tipo adequado de carta de controle. O emprego de softwares estatísticos, como Minitab ou mesmo o Excel, é comum para calcular os limites de controle e elaborar os gráficos (IAROS, 2015).

Estudos de Oprime *et al.*, (2015) também têm se dedicado a aprimorar os métodos para estimar os limites das cartas de controle, especialmente na chamada fase I (onde se estabelece o parâmetro com amostras iniciais) e fase II (monitoramento contínuo do processo), garantindo melhorias na detecção de desvios e minimizando os erros de decisão estatística.

Na indústria de detergentes em pó, Silva (2023) aplicou cartas de controle para analisar a variação da umidade durante o processo de secagem. Com esse método, foi possível identificar que a falta de monitoramento frequente tornava o processo vulnerável a desvios que afetavam a qualidade do produto. A construção de gráficos de média e amplitude para a umidade permitiu acompanhar a estabilidade do processo e sugeriu a implementação de controles sistemáticos para padronização e melhoria da produção.

Em laboratório, o monitoramento da umidade da farinha de trigo com cartas de controle revelou que múltiplos pontos ultrapassaram os limites estabelecidos, evidenciando variações fora do controle que levaram à abertura de registros de não conformidade e suspensão de análises até o problema ser resolvido. Essa aplicação demonstrou a relevância da carta de controle para controle de qualidade laboratorial e para evitar a liberação de produtos fora do padrão (IAROS, 2015).

Dessa forma, conclui-se que as cartas de controle desempenham um papel fundamental na manutenção da qualidade e na prevenção de falhas em processos produtivos e laboratoriais. Ao possibilitar a identificação precoce de desvios significativos, essas ferramentas estatísticas auxiliam na tomada de decisões mais assertivas, promovem a melhoria contínua e garantem maior confiabilidade nos resultados. Seu uso estratégico, aliado à capacitação da equipe e ao suporte de ferramentas tecnológicas, fortalece a cultura da qualidade dentro das organizações, contribuindo para a conformidade com padrões exigidos e para a satisfação do cliente final. Assim, as cartas de controle não apenas monitoram processos, mas se consolidam como instrumentos indispensáveis na gestão eficaz da qualidade.

2.5 PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA E FARELO DE SOJA

O princípio do *Lean*, que busca eliminar todas as formas de desperdício ao longo do processo produtivo, é amplamente observado desde a etapa de secagem dos grãos até o resfriamento do farelo final. Simultaneamente, os pilares do Seis Sigma, voltados para a redução da variabilidade e o controle estatístico do processo, são aplicados por meio de medições rigorosas, aferições constantes e análises de desempenho que orientam a tomada de decisões (NASCIMENTO, 2019). O processamento industrial da soja envolve uma cadeia de operações interdependentes, com o objetivo de maximizar a recuperação de óleo e farelo, garantindo qualidade e segurança alimentar. O processo é geralmente dividido em duas fases: preparação e extração, cada uma composta por etapas específicas que condicionam os grãos e otimizam o rendimento dos produtos finais (MOREIRA, 2021; SANTOS, 2024).

2.5.1 Preparação

A etapa de preparação da soja é fundamental para garantir a eficiência da extração de óleo, pois influencia diretamente o rendimento e a qualidade do produto final. Nessa fase, os grãos passam por operações como limpeza, quebra, laminação e condicionamento, que visam aumentar a área de contato e facilitar a difusão do solvente. A Figura 2 apresenta o fluxograma do processo de preparação, evidenciando as etapas sequenciais que antecedem a extração. Segundo Custódio (2003), um preparo adequado contribui para maior recuperação de óleo, além de reduzir perdas e melhorar as condições de processamento nas fases subsequentes. Nesse mesmo sentido, Zangarini (2020) destaca que a preparação correta é determinante para o desempenho global da indústria, assegurando uniformidade e qualidade no farelo produzido.

Figura 2 – Fluxograma preparação



Fonte: Arquivo Pessoal, 2025.

2.5.1.1 Pré-limpeza

A pré-limpeza inicial é crítica para remover impurezas físicas como pedras, fragmentos vegetais, metais e poeira, evitando danos aos equipamentos e contaminação do produto final. Nesta etapa, os grãos geralmente passam por uma peneira vibratória, que classifica os grãos de acordo com o tamanho, permitindo a separação de partículas menores ou maiores que o aceitável (EMBRAPA, 2008).

Além da peneira, sistemas de ar forçado podem ser utilizados para remover partículas leves e poeira, garantindo que apenas grãos de tamanho adequado avancem para os processos seguintes. O tempo de residência na peneira e a velocidade de vibração são ajustados de acordo com a qualidade do lote recebido, garantindo que os grãos limpos apresentem uniformidade ideal para os equipamentos subsequentes. Grãos inadequadamente limpos podem comprometer o rendimento de óleo e a qualidade do farelo (MARCO ANTONIO, 2018).

A pré-limpeza com peneira também reduz a variabilidade do fluxo de grãos para os quebradores, aumentando a eficiência da operação e prevenindo sobrecarga mecânica nos equipamentos. Estudos indicam que grãos limpos e uniformes proporcionam melhor

desempenho em todas as etapas da preparação, diminuindo perdas e evitando falhas operacionais (SANTOS, 2024).

2.5.1.2 Quebradores

Os quebradores são responsáveis por fraturar o tegumento da soja e expor o cotilédono, preparando os grãos para a descascagem e a extração de óleo. O tipo mais comum é o quebrador de rolos, constituído por dois cilindros paralelos com ranhuras, entre os quais os grãos passam e são submetidos a forças de compressão e atrito (FONTES, 2019).

A distância entre os rolos e a pressão aplicada são ajustáveis, permitindo controlar o grau de quebra e a uniformidade dos flocos. Ranhuras nos cilindros aumentam o atrito e ajudam a separar parcialmente as cascas, garantindo que os grãos mantenham integridade suficiente para a laminação subsequente (ZANGARINI, 2020).

A eficiência da quebra impacta diretamente o rendimento na extração de óleo. Conforme Custódio (2003), grãos adequadamente quebrados apresentam maior área de superfície, facilitando a ação do solvente e aumentando a recuperação do óleo. A Figura 3 ilustra a soja após a etapa de quebra, evidenciando o aspecto dos grãos fragmentados.

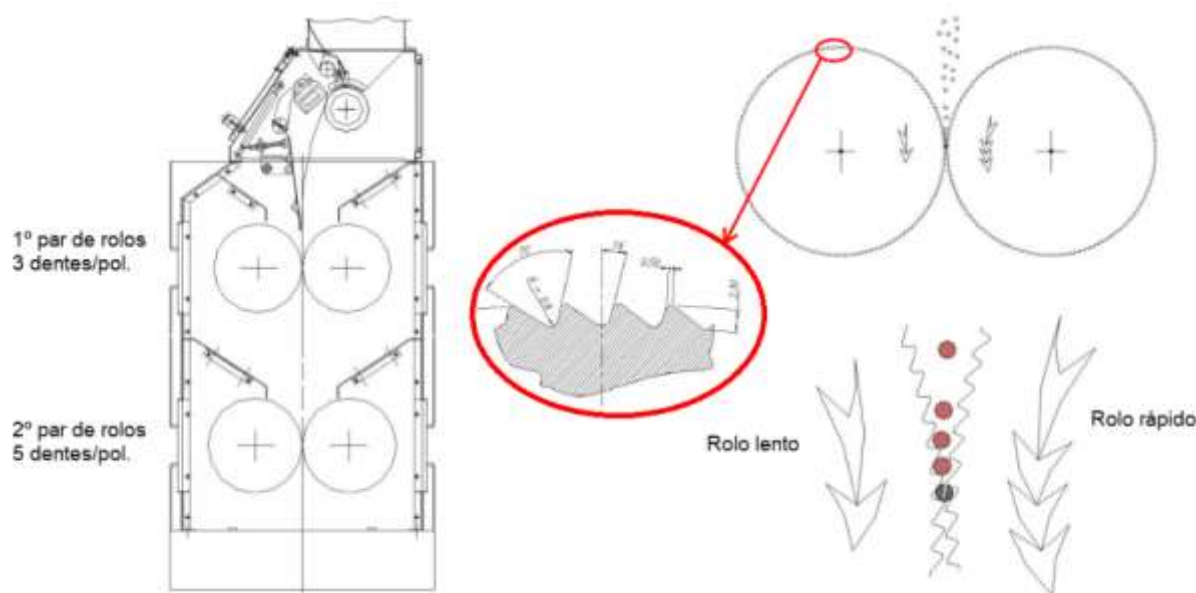
Figura 3 – Soja Quebrada



Fonte: Arquivo Pessoal, 2025.

Além disso, a operação correta dos rolos reduz a geração de partículas finas, que poderiam comprometer a laminação e a qualidade do farelo. Erickson (1995; 2000) destaca que o controle preciso da pressão e da distância entre rolos é essencial para otimizar o processo industrial, mantendo o equilíbrio entre quebra eficiente e preservação do cotilédono. A Figura 4 apresenta o funcionamento dos quebradores, evidenciando o papel dos rolos nesse processo.

Figura 4 – Quebradores de soja



Fonte: ZANGARINI, 2020.

2.5.1.3 Descascagem

A descascagem é a etapa do processamento de soja responsável por remover o tegumento externo dos grãos, que contém fibras e baixo teor de óleo. Essa etapa garante uniformidade nos flocos e melhora a eficiência da extração de óleo, além de reduzir a geração de poeira e proteger os equipamentos (FONTES, 2019).

Os equipamentos de descascagem utilizam atrito controlado e impacto, separando a casca sem danificar o grão. A intensidade do atrito, a velocidade de rotação e o tempo de residência do grão são ajustáveis, dependendo do tipo de grão e do teor de umidade, garantindo que apenas a casca seja removida (ZANGARINI, 2020).

A eficiência da descascagem influencia diretamente o rendimento do óleo e a qualidade do farelo. Grãos bem descascados apresentam maior superfície para contato com o solvente, favorecendo a extração (CUSTÓDIO, 2003).

Além disso, a operação deve ser monitorada para evitar sobrecarga e desgaste do equipamento. A escolha do tipo de descascadora e o ajuste preciso dos parâmetros operacionais garantem uniformidade do floco, melhorando a eficiência das etapas subsequentes, como condicionamento, laminação e extração do óleo (ANTONIO, 2018).

2.5.1.4 Condicionamento

O condicionamento é a etapa em que os grãos de soja são submetidos a umidade e temperatura controladas, preparando-os para a laminação. O objetivo é amolecer o cotilédone, tornando-o mais flexível e facilitando a formação de flocos uniformes na etapa seguinte (FONTES, 2019).

Segundo Zangarini (2020), o condicionamento envolve o uso de tanques ou sistemas de aquecimento e vapor, ajustando a temperatura de forma precisa para não danificar o grão. Esse controle garante que os grãos estejam adequadamente preparados para a laminação, evitando quebras irregulares ou flocos pulverizados.

Conforme Custódio (2003), o condicionamento adequado aumenta a eficiência da extração de óleo, pois flocos uniformes apresentam maior área de superfície para o contato com o solvente. A etapa também contribui para a consistência do farelo, evitando a formação de partículas finas que prejudicam o transporte e armazenamento.

A Embrapa (2008) destaca que o monitoramento contínuo da umidade e temperatura é essencial para manter a qualidade do floco, garantindo uniformidade em toda a produção e evitando danos que possam comprometer o rendimento de óleo e a integridade do farelo.

2.5.1.5 Laminadores

Os laminadores são responsáveis por achatar os grãos condicionados, transformando-os em flocos finos e uniformes que facilitam a extração do óleo (FONTES, 2019), conforme mostra a figura 5 a soja laminada. Essa etapa aumenta a área superficial do cotilédone, melhorando o contato com o solvente e, conseqüentemente, o rendimento de óleo.

Figura 5 – Soja laminada



Fonte: Arquivo Pessoal, 2025.

Zangarini (2020) explica que os laminadores consistem em dois rolos paralelos, ajustáveis quanto à distância entre eles e à pressão aplicada. A Figura 6 mostra o laminador de soja, destacando sua estrutura. O ajuste correto evita que os flocos se quebrem em partículas muito finas ou se mantenham grossos demais, garantindo uniformidade para a extração.

Conforme Custódio (2003), a laminação influencia diretamente o desempenho dos extratores subsequentes, pois flocos irregulares podem dificultar a penetração do solvente e reduzir a recuperação de óleo. Flocos uniformes também contribuem para a qualidade do farelo, evitando mistura excessiva de partículas finas e cascas.

Figura 6 – Laminadores de soja

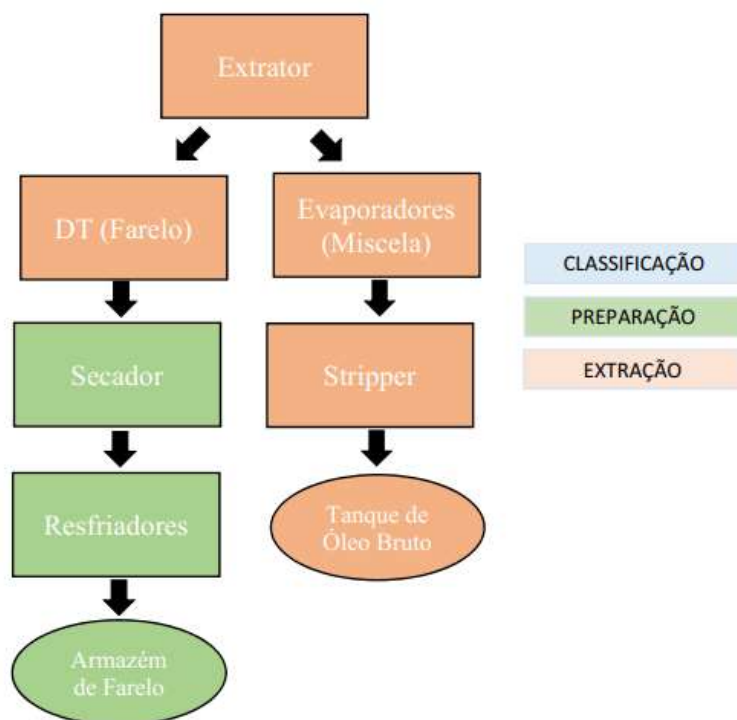


Fonte: BÜHLER GROUP, 2025.

2.5.2 Extração

A extração é uma etapa fundamental no processamento da soja, onde os componentes desejados, como o óleo, são separados do material sólido. Para isso, diferentes equipamentos e processos são empregados, como o extrator, o Desolventizador-Tostador (DT) e os equipamentos da destilaria, que incluem evaporadores e stripper (PEREIRA, 2015; MOREIRA, 2021; SANTOS, 2024). Conforme mostra o fluxograma da extração na figura 7.

Figura 7 – Fluxograma extração

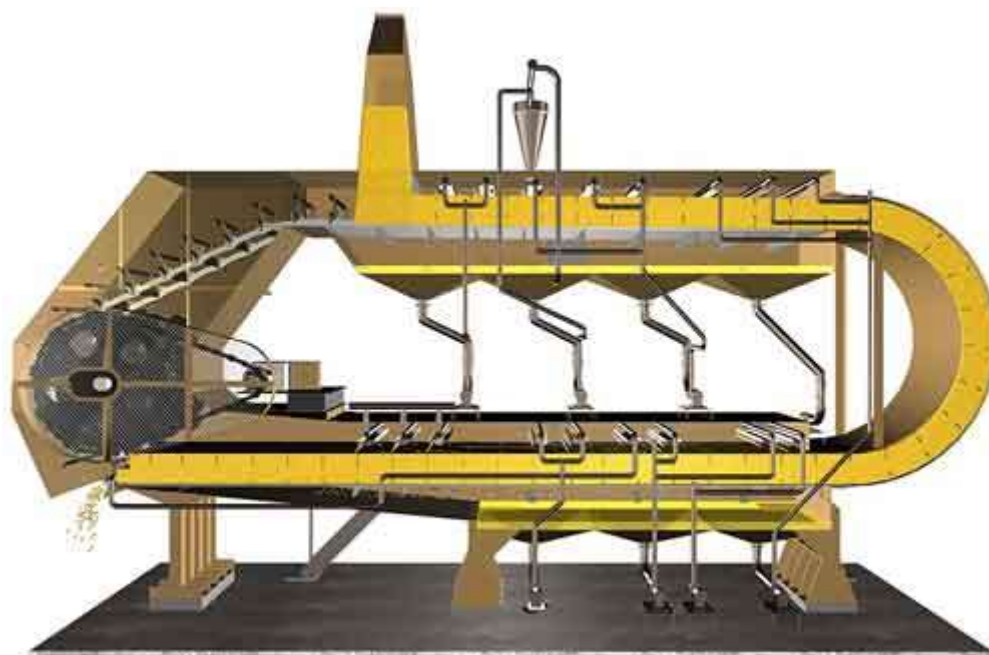


Fonte: Arquivo Pessoal, 2025.

2.5.2.1 Extrator

O extrator é responsável por promover o contato entre o solvente (geralmente hexano) e o material sólido residual do esmagamento da soja, chamado torta. A extração consiste na dissolução do óleo presente na torta pelo solvente, que percola através do material sólido. O funcionamento do extrator deve garantir uma eficiente mistura e tempo adequado de contato para maximizar a extração do óleo, minimizando a perda e preservando a qualidade do produto. Segundo Moreira (2021), o design e a operação do extrator são essenciais para garantir a eficiência do processo, reduzindo o consumo energético e o uso do solvente.

Figura 8 – Extrator CROWN (fluxo de produto)



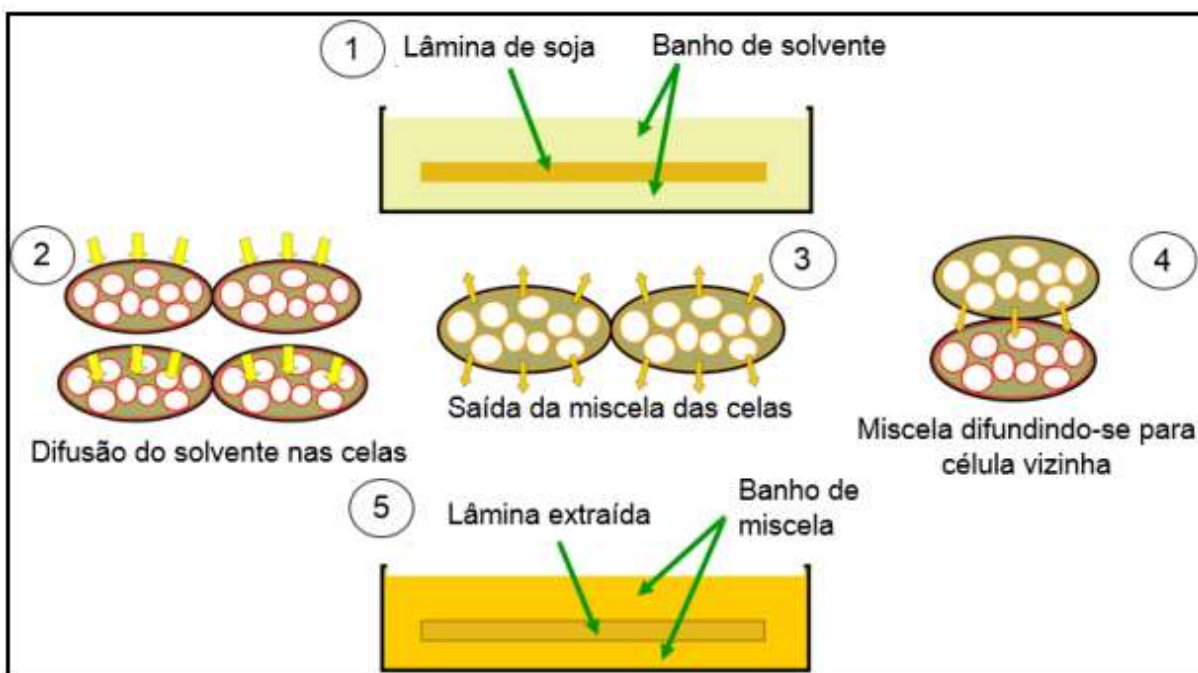
Fonte: CROWN IRON WORKS, 2025.

O extrator modelo Crown, conforme mostrado na figura 8, é projetado para realizar a separação do óleo presente nos flocos de soja por meio de um processo contínuo e de alta eficiência. De acordo com Silva (2015), o equipamento é dividido internamente em seções onde ocorre a pulverização controlada de hexano sobre o material sólido, promovendo a dissolução do óleo contido nas células vegetais.

Segundo Gunstone (2011), o sistema de extração funciona em fluxo contracorrente, em que o solvente mais limpo é aplicado sobre o farelo com menor teor de óleo e o solvente mais carregado entra em contato com flocos recém-laminados. Esse arranjo aumenta o rendimento do processo, pois mantém um gradiente de concentração favorável para a migração do óleo para o solvente.

As lâminas internas do extrator desempenham papel fundamental, movimentando os flocos para que haja contato uniforme com o solvente em todas as fases da extração. Conforme descrito por Custódio (2003), essa agitação favorece a penetração do hexano, rompendo membranas celulares e liberando triglicerídeos. A Figura 9 ilustra o mecanismo de extração, destacando o funcionamento do equipamento, enquanto a Figura 10 apresenta o farelo branco resultante desse processo, evidenciando o aspecto do material após a extração. Ao final do ciclo, a mistura óleo-solvente (micela) é coletada e encaminhada para a etapa de evaporação, enquanto o farelo úmido segue para o Desolventizador-Tostador (DT) para remoção do solvente residual.

Figura 9 – Mecanismo da extração



Fonte: NAHIME, 2017.

O desempenho do Crown depende do controle rigoroso da temperatura, do tempo de residência e da vazão do solvente, permitindo alcançar níveis residuais de óleo no farelo inferiores a 1% quando bem ajustado, como reportado por Gunstone (2011).

Figura 10 – Farelo Branco (pós extrator)



Fonte: Arquivo Pessoal, 2025.

2.5.2.2 Destilaria: evaporadores e stripper

Na destilaria, o solvente é recuperado e reutilizado através de processos de evaporação e destilação. Os evaporadores aquecem a mistura de óleo e solvente, promovendo a evaporação do solvente que está em forma líquida. Esta etapa reduz o volume da mistura e concentra o óleo, além de separar o solvente para posterior recuperação. Após a extração, a mistura óleo-solvente

(micela) é encaminhada para evaporadores a fim de separar o hexano do óleo bruto. Conforme descrito por Silva (2015), essa separação é feita por aquecimento controlado, que vaporiza o hexano sem degradar o óleo. Em geral, o sistema utiliza duas ou mais etapas de evaporação, com pressões e temperaturas ajustadas para otimizar a eficiência de recuperação do solvente.

Segundo Custódio (2003), o primeiro estágio remove a maior parte do hexano, enquanto estágios subsequentes garantem a purificação final. O vapor gerado é conduzido a condensadores, onde o hexano é recuperado e reciclado para o extrator, reduzindo custos e impactos ambientais. Esse controle térmico é essencial para preservar características sensoriais e químicas do óleo de soja.

O stripper é o equipamento responsável pela etapa final de remoção do hexano residual da micela após a evaporação. De acordo com Gunstone (2011), seu funcionamento envolve a passagem da micela aquecida por uma coluna onde vapor é injetado na base, promovendo a stripping (arraste) do solvente por contato direto. Esse processo garante níveis de hexano no óleo inferiores ao permitido por normas de segurança alimentar.

Segundo Custódio (2003), a eficiência do stripper depende da temperatura do óleo na entrada, da taxa de injeção de vapor e do número de estágios de contato. Ao final, obtém-se óleo bruto praticamente isento de solvente, pronto para seguir para as próximas etapas. Além disso, o hexano recuperado no stripper é condensado e reaproveitado, contribuindo para a sustentabilidade do processo.

2.5.2.3 Desolventizador-Tostador (DT)

O DT é dividido em diferentes seções, cada uma com uma função específica para garantir a remoção eficiente do hexano e a adequação do farelo ao uso industrial. Na primeira seção, conhecida como zona de pré-aquecimento ou desolventização inicial, o farelo proveniente do extrator chega saturado de solvente e com elevada umidade. Nesta etapa, é aquecido por vapor indireto circulando em serpentinas, o que promove a vaporização gradual do hexano, evitando choques térmicos que possam comprometer a qualidade da proteína (CUSTÓDIO, 2003).

Em seguida, o produto desce para a zona de tostagem, onde ocorre a aplicação de vapor vivo (direto). Essa etapa é fundamental não apenas para a remoção quase total do hexano remanescente, mas também para a inativação de fatores antinutricionais, como urease e inibidores de tripsina, que prejudicam a digestibilidade das proteínas. Conforme Gunstone

(2011), a temperatura é mantida em níveis controlados, normalmente entre 100 °C e 115 °C, garantindo a eficiência da desnaturação proteica sem degradação excessiva.

Todo o processo dentro do DT é auxiliado por um fluxo gravitacional, no qual o farelo atravessa uma série de compartimentos internos equipados com agitadores lentos. Esses agitadores asseguram a movimentação homogênea, impedindo que o produto compacte e garantindo contato uniforme com o vapor. A Figura 11 apresenta o Desolventizador-Tostador (DT), evidenciando sua estrutura e funcionamento. O hexano vaporizado é conduzido para um sistema de condensação, onde é recuperado e reinserido no processo, reduzindo custos (CUSTÓDIO, 2003; GUNSTONE, 2011).

Figura 11 – DT (Desolventizador-Tostador)



Fonte: One CPM, 2025.

2.5.2.4 Secagem e resfriamento do farelo

O secador é um equipamento utilizado no processamento do farelo de soja para reduzir o teor de umidade do produto, garantindo sua conservação e estabilidade durante o armazenamento. Diferentemente do desolventizador-tostador, o secador não tem como função remover o hexano residual presente no farelo; sua principal função é o controle da água residual (CUSTÓDIO, 2003). O equipamento opera por meio do ajuste de temperatura e pressão,

permitindo que a umidade seja evaporada de forma controlada, sem provocar degradação térmica do farelo (GUNSTONE, 2011).

O farelo é movimentado dentro do secador por transportadores ou esteiras, enquanto o calor é aplicado de maneira uniforme. O aumento da temperatura fornece energia suficiente para a evaporação da água, e a pressão interna ajustada controla a velocidade da secagem, evitando alterações físicas ou químicas indesejadas no farelo (CUSTÓDIO, 2003). Esse controle preciso é fundamental para garantir um teor de umidade adequado e permitir que o produto final seja armazenado ou processado posteriormente, mantendo suas propriedades nutricionais e qualidade industrial (GUNSTONE, 2011).

O resfriador é um equipamento industrial projetado para reduzir a temperatura do farelo de soja após a secagem, garantindo que o produto atinja condições estáveis para armazenamento ou processamento subsequente (GUNSTONE, 2011). Sua função principal é evitar a condensação de umidade, que poderia favorecer a proliferação microbiana e comprometer a qualidade do farelo. A Figura 12 mostra o farelo final, evidenciando seu aspecto após o resfriamento. O resfriamento é realizado por meio de um ventilador que puxa o ar entre o farelo, promovendo a redução gradual da temperatura sem comprometer suas características físico-químicas. Integrado ao secador, o resfriador atua como parte de um sistema contínuo de tratamento térmico, assegurando a preservação do sabor, cor e valor nutricional do produto (GUNSTONE, 2011).

Figura 12 – Farelo Final



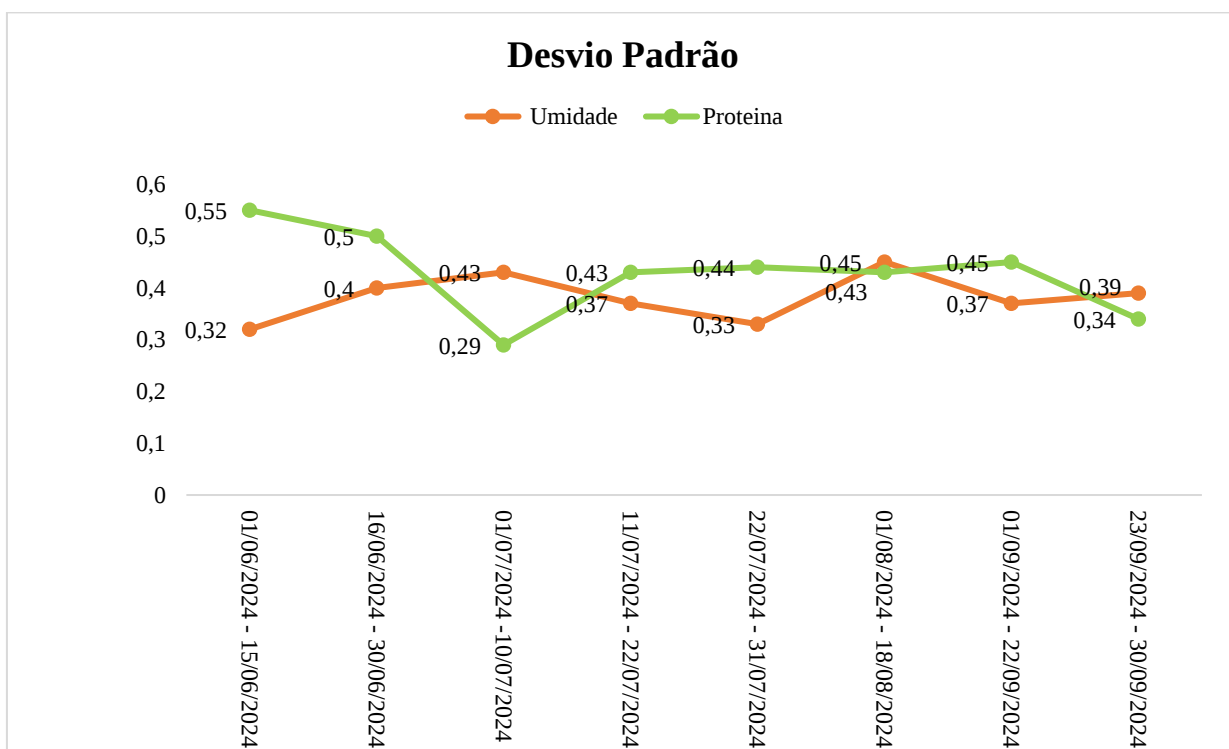
Fonte: Arquivo Pessoal, 2025.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Na fase de definição, o problema é identificado: a umidade do farelo final apresenta oscilações que impactam negativamente o rendimento (*yield*) e comprometem a padronização do produto. Há registros constantes de divergências entre os valores de umidade aferidos na saída dos resfriadores de farelo (preparação) e os encontrados no momento da expedição. O objetivo central do projeto, portanto, é reduzir essa variabilidade, garantindo que a umidade se mantenha dentro dos limites de controle esperados, além de alinhar as medições entre os dois setores e reduzir por consequência o desvio padrão das análises de Farelo Final.

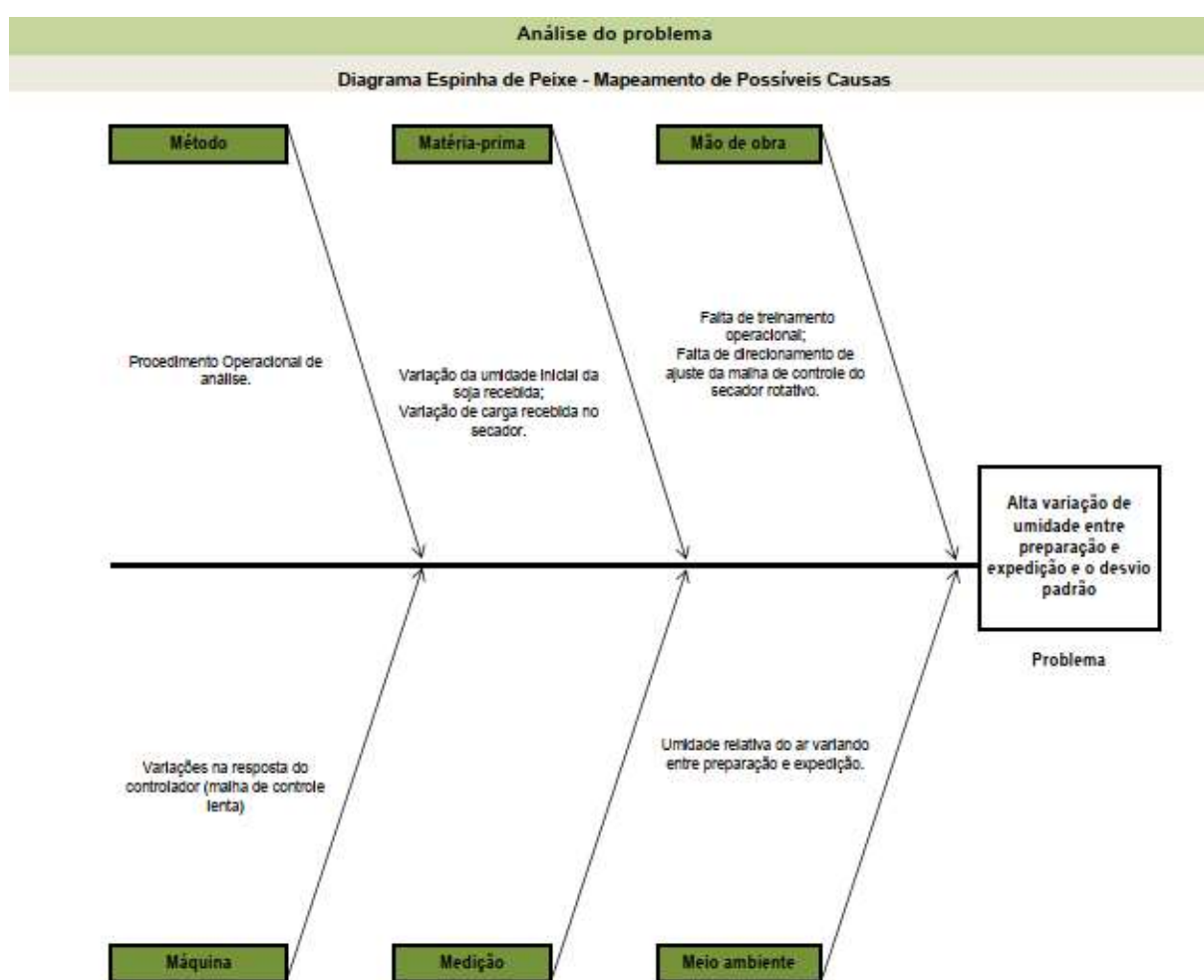
Na etapa de Medição, são coletadas informações cruciais para entender o comportamento do processo. São analisados os dados de umidade medidos na preparação e na expedição, bem como parâmetros operacionais como pressão e temperatura do secador, tempos de retenção e os métodos de coleta utilizados em cada setor. Durante essa fase, foi identificado que havia uma diferença média de 0,88% entre os valores de umidade do farelo aferidos na preparação e na expedição, o que é considerado um desvio significativo. Além disso, analisaram-se o histórico de produção e o desvio padrão dos últimos meses como mostrado na figura 13.

Figura 13 – Desvio padrão antes das ações



Avançando para a etapa de Análise, o foco foi identificar as causas raiz da instabilidade no parâmetro de umidade. Para isso, foi elaborado um diagrama de Ishikawa (espinha de peixe), permitindo uma visualização clara das possíveis origens do problema sob diferentes categorias, como método, máquina, mão de obra e medição como mostrado na figura 14. Com base nessa análise, foram identificados pontos críticos e definidos os elementos que comporiam o plano de ação, com o objetivo de reduzir a variabilidade da umidade do farelo e aumentar a confiabilidade do processo como um todo.

Figura 14 – Diagrama Espinha de Peixe



Com as causas principais identificadas, parte-se para a fase de Melhoria, onde foram implementadas ações corretivas e estruturadas para reduzir a variabilidade do processo e aumentar a confiabilidade da medição de umidade do farelo. As melhorias foram divididas em três frentes principais:

Amostragem de farelo final: foi realizada a revisão completa do procedimento de análise de umidade, com foco em padronizar os métodos de coleta e reduzir possíveis interferências

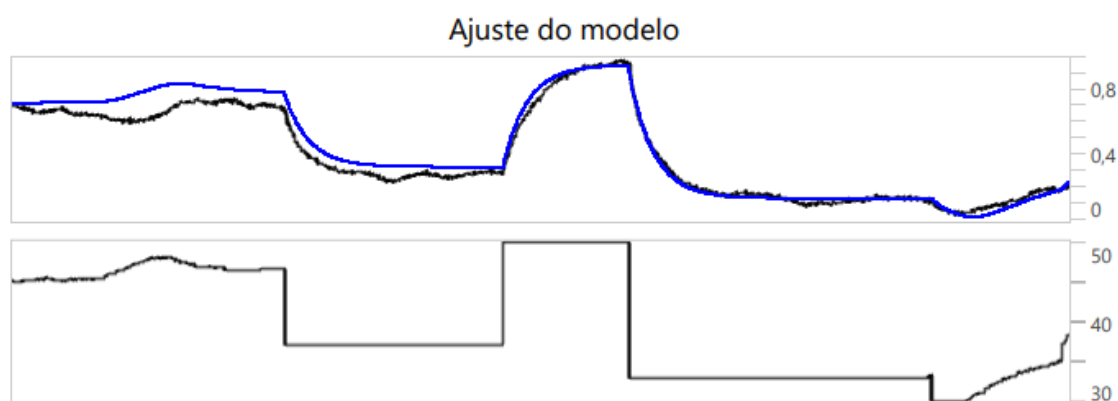
externas. Os sacos herméticos anteriormente utilizados foram substituídos por potes plásticos com vedação, visando melhorar a conservação da amostra e reduzir perdas de umidade durante o transporte, conforme mostrado na figura 15. Além disso, foi realizado treinamento com a equipe operacional para garantir a correta execução do novo procedimento de amostragem, promovendo alinhamento entre turnos e setores.

Figura 15 – Comparativo do amostrador de Farelo



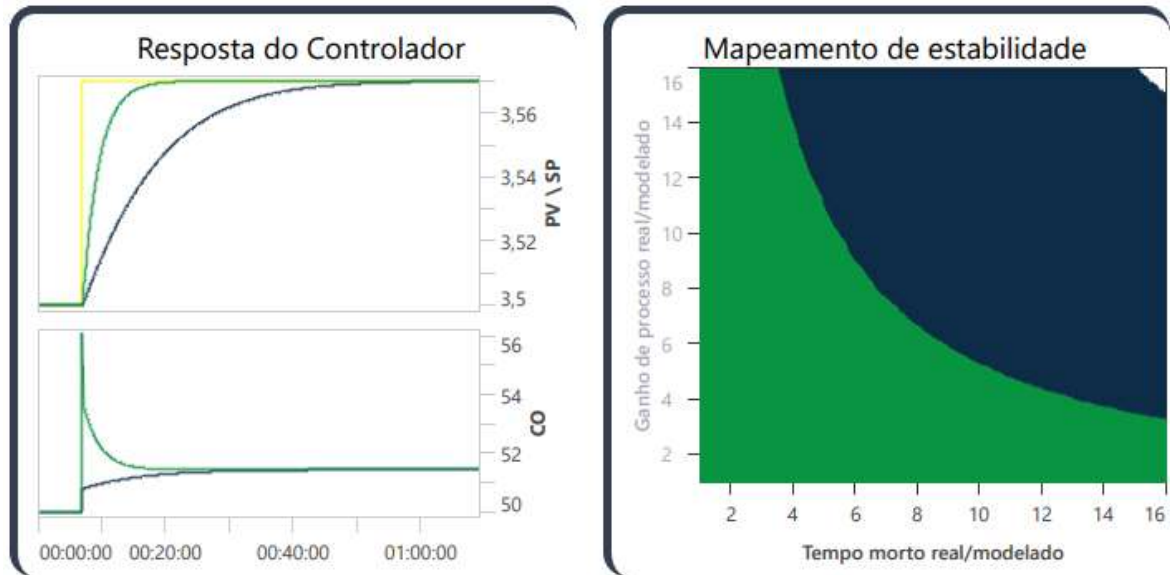
Malha de controle do secador rotativo de farelo: Foi realizado um ajuste fino (*tuning*) da malha de controle de pressão do secador rotativo de farelo, com o objetivo de tornar a resposta do sistema mais estável frente às variações de carga e umidade da matéria-prima. Na Figura 16, pode-se visualizar o *step test* realizado na malha de pressão do secador. Essa calibração detalhada possibilitou um controle mais preciso do processo, garantindo uniformidade na secagem e melhorando a consistência do produto final, reduzindo oscilações indesejadas e contribuindo para a eficiência operacional.

Figura 16 – Step teste malha do secador



A Figura 17 apresenta o comparativo entre a resposta do controlador e a estabilidade da malha, destacando o comportamento do sistema antes do ajuste e após a realização do tuning.

Figura 17 – Resposta do controlador e estabilidade da malha



A Figura 18 apresenta a comparação entre os parâmetros antigos e os novos parâmetros aplicados à malha de controle, evidenciando o ajuste realizado com o objetivo de aprimorar a estabilidade do sistema.

Figura 18 – Parâmetros da malha de controle

parâmetros de sintonia				
	Action	K_p	$K_I (\text{min}^{-1})$	$K_D (\text{min})$
Recomendado	SP-PV	3,784063	0,5440261	0,1566937
Existente	SP-PV	0,77	0,13	0
Constante de tempo de loop fechado <u>2,61 (Min)</u> Estilo de afinação <u>Moderadamente agressivo</u>				

Carta de controle do secador rotativo de farelo (mostrada na figura 19): Foi desenvolvida uma carta de controle estatístico da umidade, estruturada com base nos dados gerados pelo analisador NIR (*Near Infrared Reflectance*), que fornece medições rápidas e precisas de umidade e proteína do farelo em tempo real ao longo do processo. A partir desses dados, foi possível estabelecer uma correlação direta entre o desempenho do secador rotativo e os valores de pressão definidos no set point da malha de controle. Com essa relação, a carta de controle passou a funcionar como uma ferramenta estratégica de suporte à tomada de decisão, permitindo calcular o ajuste ideal do set point de pressão para manter a umidade do farelo dentro

de um intervalo (range) previamente determinado como aceitável, e o mais próximo possível do valor-alvo.

Isso possibilitou tanto correções manuais quanto automáticas, otimizando a estabilidade operacional e contribuindo diretamente para a padronização da qualidade do produto final. Integrada à rotina da operação, a carta de controle permite monitorar desvios-padrão em tempo real, reduzindo a influência de erros humanos e facilitando a identificação precoce de anomalias. Como resultado, houve uma expressiva diminuição na variabilidade do processo e um aumento na previsibilidade e controle da umidade.

Figura 19 – Carta de Controle



Como resultado das ações implementadas, verificou-se uma redução na diferença média de umidade entre as etapas de preparação e expedição, que passou de 0,88% para 0,50%. Além disso, houve uma diminuição expressiva na variabilidade dos parâmetros analisados: o desvio padrão da umidade, que era de 0,5, reduziu para 0,23, enquanto o da proteína passou de 0,4 para 0,23. Essa maior estabilidade operacional evidenciou a eficácia das intervenções aplicadas no processo, como mostrado nas figuras 20 e 21.

Figura 20 – Comparativo de Diferença de preparação e expedição

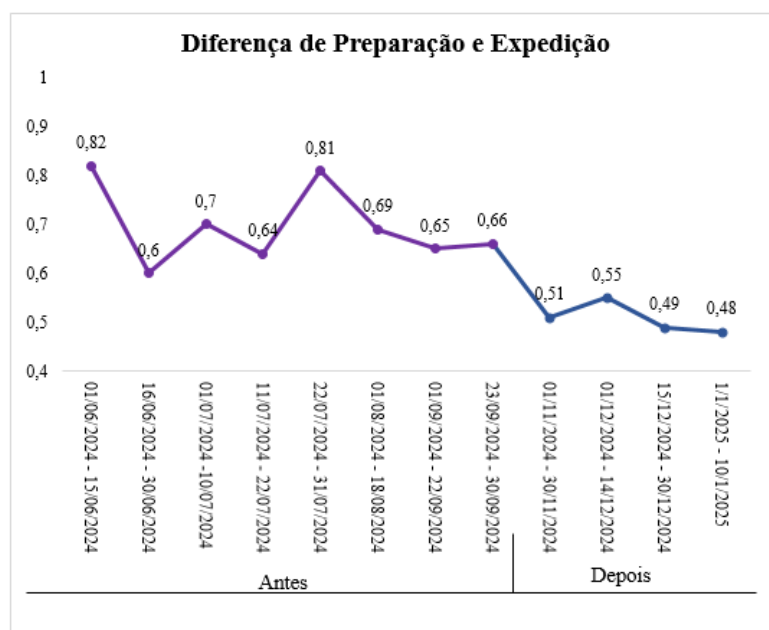
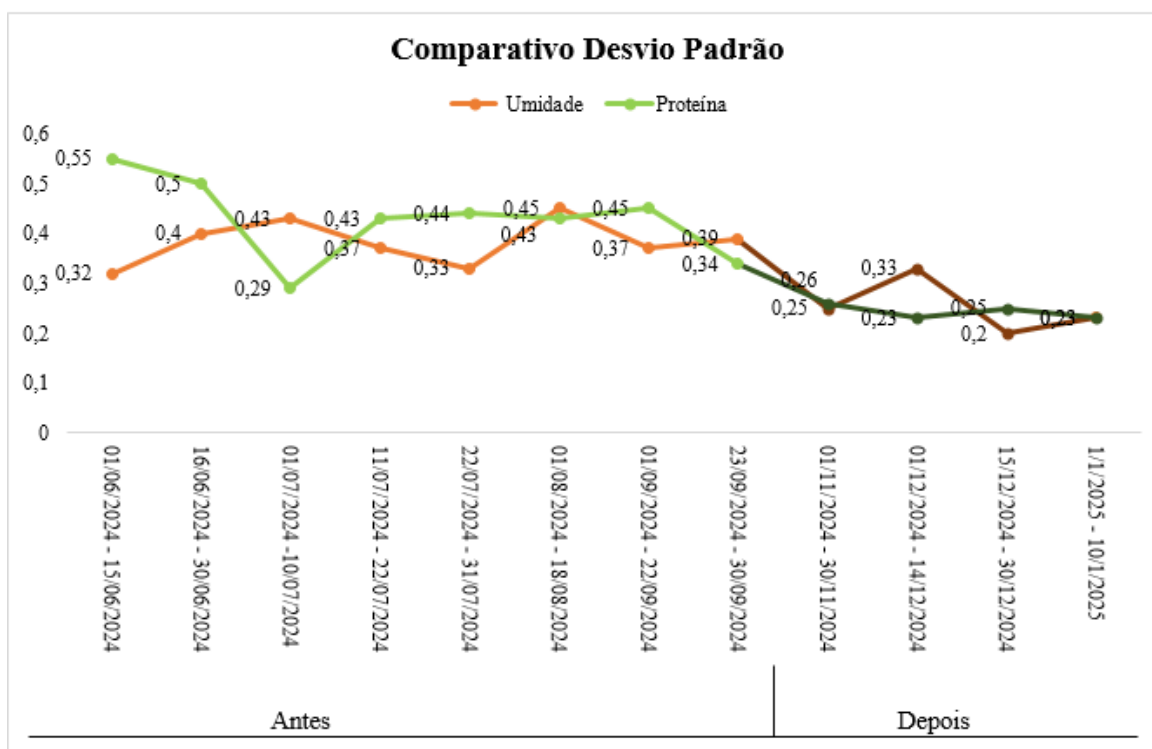


Figura 21 – Comparativo de Diferença de preparação e expedição



Com isso, iniciou-se a fase de Controle, voltada para a sustentação dos ganhos obtidos. Foram estabelecidos mecanismos permanentes de monitoramento e acompanhamento dos dados operacionais, como a manutenção periódica da carta de controle e geração de relatórios automatizados com alertas para desvios fora da faixa de controle. A equipe operacional passou

a seguir rotinas padronizadas e treinamentos recorrentes, garantindo maior confiabilidade no processo e promovendo uma cultura de melhoria contínua.

A aplicação completa do ciclo DMAIC permitiu não apenas corrigir o problema de variação de umidade, mas também implementar uma gestão mais robusta do processo, com foco na qualidade, rendimento e padronização do farelo final.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da metodologia *Lean Seis Sigma* na indústria de processamento de soja demonstrou ser uma estratégia eficaz para a redução de desperdícios e para a melhoria do rendimento do farelo. Por meio do ciclo DMAIC, foi possível identificar as principais fontes de variabilidade, analisar suas causas e implementar soluções direcionadas que resultaram em ganhos expressivos de padronização e eficiência.

Os resultados obtidos evidenciam a redução significativa na diferença média de umidade entre as etapas de preparação e expedição, bem como a diminuição do desvio padrão tanto da umidade quanto da proteína do farelo. Essa maior estabilidade operacional confirma que as intervenções aplicadas, como a padronização dos métodos de amostragem, o ajuste da malha de controle do secador e a implementação de cartas de controle, contribuíram diretamente para o alcance dos objetivos estabelecidos.

Além dos ganhos técnicos, destaca-se o fortalecimento da cultura de melhoria contínua dentro da organização, sustentada pelo engajamento dos operadores e pela padronização de rotinas operacionais. Esses fatores asseguram não apenas a manutenção dos resultados, mas também a replicabilidade das práticas em outros processos industriais do setor.

Conclui-se, portanto, que o *Lean Seis Sigma* constitui uma ferramenta robusta para a otimização do processo de esmagamento de soja, promovendo eficiência produtiva, redução de custos e conformidade com as exigências de sustentabilidade ambiental. O estudo evidencia que a integração entre gestão da qualidade e engenharia de processos pode gerar benefícios duradouros, sendo recomendável sua adoção em diferentes contextos da agroindústria.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, D. B.; ADAMS, W. W. N. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 43, p. 599–626, 1992.

ALVES, R. et al. Análise combinatória entre DMAIC e PDCA em um estudo de caso: projeto de implementação de muro de vidro em cooperativa médico do interior paulista. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gestão de Projetos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020.

AMÉRICO, I.; AZEVEDO, M. J. G.; SOUZA, A. de. Trabalho automação na metalurgia manual X automatização. [S. l.], 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE); CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). *Cadeia da soja e do biodiesel: PIB, empregos e comércio exterior – 1º trimestre de 2024*. São Paulo: Abiove; Cepea, 2024. Disponível em: https://abiove.org.br/abiove_content/Abiove/Relatorio-Cadeia-da-Soja-e-biodiesel-1T2024-1.pdf. Acesso em: 26 jun. 2025.

APROSOJA BRASIL. Mundo deve produzir menos e consumir mais soja na safra 2017/18, diz USDA. *Blog Aprosoja Brasil*, 11 maio 2017. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/comunicacao/blog/destaques/2017/05/11/mundo-deve-produzir-menos-e-consumir-mais-soja-na-safra-1718-diz-usda/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

ÅSTRÖM, K. J.; HÄGGLUND, T. The future of PID control. *Control Engineering Practice*, [S. l.], 2001.

BEGA, E. A.; FINKEL, V. S.; K, R. *Instrumentação industrial*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2006.

BIAZETTO, F.; CHIROLI, D. M. G.; GLAVAM, R. B. Prática da metodologia Seis Sigma para redução de perda na soja em uma unidade beneficiadora de grãos. *Revista Exacta*, [S. l.], 2019.

BRAGA, G. O. O pH do solo e a disponibilidade de nutrientes. [S. l.], 2012. Disponível em: <http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2012/01/o-ph-do-solo-e-disponibilidade-de.html>. Acesso em: 26 jun. 2025.

BRITO, H. C.; SILVA, M. M. N. (org.). *Meio ambiente e sustentabilidade: pesquisas, reflexões e diálogos emergentes*. v. 4. Campina Grande: Amplla Editora, 2023. ISBN 978-65-5381-130-0. DOI: 10.51859/amplla.mas3200-1. Disponível em: <https://ampllaeditora.com.br/books/2023/07/MeioAmbienteSustentabilidade.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). *Relatório de curso: Engenharia de Produção*. Brasília: INEP, 2019.

BUGOR, F.; DE LUCCA FILHO, J. Utilização da metodologia DMAIC para promover melhorias na qualidade em indústrias alimentícias: uma revisão de literatura. *Revista Interface Tecnológica*, v. 18, n. 2, p. 724–733, 2021.

BUAINAIN, A. M. Soja no Brasil: controvérsias em debate. *Jornal da Unicamp*, 30 jul. 2025. Disponível em: https://jornal.unicamp.br/artigo/2025/07/30/soja-no-brasil-controversias-em-debate/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 26 jun. 2025.

CÂMARA, G. M. S. *Soja: tecnologia da produção II*. Piracicaba: G. M. S. Câmara, 2000. 450 p.

CARRÃO-PANIZZI, M. C. et al. Melhoramento de soja para alimentação humana na Embrapa Trigo – Safra Agrícola 2011/2012. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. p. 27–31.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; SILVA, J. B. Soja na alimentação humana: qualidade na produção de grãos com valor agregado. In: CONGRESO DE LA SOJA DEL MERCOSUR – MERCOSOJA, 5., 2011, Rosário. *Resumos*. Rosário: Asociación de la Cadena de la Soja Argentina (ACSOJA), 2011. p. 1–3.

CASTROIXA, L. P. D. et al. Controle de umidade PI em uma indústria de processamento de soja: comparação entre controle automatizado e controle manual de ventilação. *Engenharia*, v. 28, n. 138, set. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.69849/revistafit/ni10202409281605>. Acesso em: 21 jul. 2025.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada; CNA – Confederação Nacional da Agricultura. Produto Interno Bruto do Agronegócio Brasil – Dados de jan./dez. 2016. [S. l.], 2016. Disponível em: http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relatorio%20PIBAGRO%20Brasil_DEZ_EMBRO.pdf. Acesso em: 23 ago. 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Grãos, Safra 2008/2009: sétimo levantamento*. Brasília: CONAB, 2009. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/precos/revista-indicadores-da-agropecuaria/item/download/1777_bc344e7c94b8e25205d70b80d45771da. Acesso em: 26 jun. 2025.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. *PIB do Agronegócio brasileiro*. 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 26 jun. 2025.

CUSTÓDIO, A. F. *Modelagem e simulação do processo de separação de óleo de soja-hexano por evaporação*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <https://www.repositorio.unicamp.br>. Acesso em: 6 ago. 2025.

CHIROLI, D. M. G.; BIAZETTO, F.; GLAVAM, R. B. Prática da metodologia Seis Sigma para redução de perda na transferência da soja em uma unidade beneficiadora de grãos. *Exacta*, v. 17, n. 3, p. 35–60, 2019.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. PIB do agronegócio alcança participação de 26,6% no PIB brasileiro em 2020. Brasília: CNA, 2020. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/boletins/pib-do-agronegocio-alcanca-participacao-de-26-6-no-pib-brasileiro-em-2020>. Acesso em: 26 jun. 2025.

DMAIC. Define, Measure, Analyse, Improve e Control. [S. l.], [20--]. Disponível em: <http://www.citisystems.com.br/dmaic-definir-mensurar-analisar-melhorar-controlar/>. Acesso em: 07 jul. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2004*. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 237 p. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/central.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2003*. Londrina: Embrapa, 2003a. (Sistemas de Produção, n. 1). Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/index.htm>. Acesso em: 26 jun. 2025.

EMBRAPA. *Produção de óleo de soja em pequenas unidades industriais*. Londrina: Embrapa Soja, 2024. (Documento técnico, série Óleos e Gorduras, n. 171). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1019071/1/Doc171OL.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

EMBRAPA. *Boletim de PD 11 – processo de produção de farelo de soja*. Londrina: Embrapa, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1065512/1/BoletimdePD11.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2025.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. *Ecofisiologia da soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 10 p. (Circular Técnica, 48). Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/cirtec/circtec48.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

FERREIRA, C. et al. iLeanDMAIC – Uma metodologia para implementação de ferramentas magro. *Procedia Manufacturing*, v. 41, p. 1095–1102, 2019.

FERREIRA, C. et al. Monitoramento de processos produtivos através da metodologia Seis Sigma utilizando ciclo DMAIC: estudo de caso em uma produção artesanal de microempresa de pão de queijo. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 2, 2022.

FERREIRA, J. P. Lean Six Sigma | Visão Evolutiva da Qualidade na Indústria de Alimentos. *Food Safety Brazil*, 2016. Disponível em: https://foodsafetybrazil.org/lean-six-sigma-visao-evolutiva-da-qualidade-na-industria-de-alimentos/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 26 jun. 2025.

FONTES, A. V. *Processo de industrialização da soja*. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28362/1/ProcessoIndustrializa%c3%a7%c3%a3oSoja.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

FRANCESKI, C. et al. Aplicação de ferramentas Lean na área de alimentos: uma revisão conceitual. *Revista ADM.MADE*, v. 20, n. 1, p. 15–35, 2016.

GAZZONI, D. L. Agronegócio brasileiro: 50 anos de sucesso. *Revista de Política Agrícola*, v. 32, n. 2, p. 138, 2023.

IAROS, A. *Cartas de controle em laboratório: estudo de caso em laboratório de análises de trigo*. [S. l.], 2015.

GUNSTONE, F. D. *Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses*. Blackwell Publishing Ltd., 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/43256/1/ProcessoProdu%C3%A7%C3%A3o%C3%93leo.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

JIANG, A. C. D. et al. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. *Environmental and Experimental Botany*, p. 1–10, 2004.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MORAES, M. R.; AMARAL, R. M. Cartas de controle: uma ferramenta para melhorar a gestão na segurança pública em Teresópolis/RJ. *UNIFESO – Humanas e Sociais*, v. 9, n. 1, p. 3–19, 2023.

MOREIRA, A. H. *Uso do design thinking para apoiar o desenvolvimento de um aplicativo no processo de esmagamento de soja*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32191/1/UsoDoDesign.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2025.

MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. (ed.). *A soja no Brasil*. [S. l.: s. n.], [19--]. p. 65–104.

NASCIMENTO, R. A. do. *Validação das medidas de controle na produção do farelo de soja*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gestão da Qualidade e Engenharia da Produção) – IPOG, Goiânia, 2019. Disponível em: <assets.ipog.edu.br/wp-content/uploads/2019/12/07015609/rafaella-araujo-do-nascimento-8481019.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

NORTEGUBISIANO. O que é Seis Sigma? *Blog NorteGubisiano*, 2018. Disponível em: <https://www.nortegubisiano.com.br/blog/o-que-e-six-sigma/>. Acesso em: 07 jul. 2025.

OLIVEIRA, F. A.; SFREDO, G. J.; CASTRO, C.; KEPLER, D. *Fertilidade do solo e nutrição da soja*. Londrina: Embrapa, 2007. (Circular Técnica, 50).

OLIVEIRA, J. P. B. M. *Review of Auto-tuning Techniques for Industrial PI Controllers*. 1994. Dissertação (Mestrado) – University of Salford, 1994.

OPRIME, P. C. et al. Método de estimativa dos limites da carta de controle não paramétrica que monitora simultaneamente a média e a variância. *Gestão & Produção*, v. 23, n. 1, p. 146–164, 2015.

OTTONELLI, L. G. P. *O processo de produção de óleo de soja: da semente ao produto final*. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/43256/1/ProcessoProdu%C3%A7%C3%A3o%C3%93leo.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

PEREIRA, A. C. et al. Aplicabilidade da metodologia Lean Six Sigma na redução de desperdícios na linha de produção em indústrias de alimentos. 2025. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – IBMR, 2025. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/96287374-baee-446d-a83c-846f142711d3>. Acesso em: 07 jul. 2025.

PEREIRA, M. A. *Cadeia produtiva do farelo de soja: um enfoque na produção nacional*. Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2015. Disponível em: <http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/MARCO%20ANTONIO%20-%20CADEIA%20PRODUTIVA%20DO%20FARELO%20DE%20SOJA%20Um%20enfoque%20na%20producao%20nacional.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2025.

PINHO, F. C. et al. Proposta de melhoria da qualidade com a implantação da metodologia Seis Sigma. *Pesquisar, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 9, n. 10, 2020.

QUINELLO, R. Processo de institucionalização do Seis Sigma em uma empresa automobilística. *BATER – Revista de Administração Mackenzie*, v. 7, p. 148–178, 2020.

RODRIGUES, L. M. et al. Secadores rotatórios. [S. l.], 2019.

ROSA, U. F. P.; SOUZA, R. S. de; ROYER, R. Roteiro para aplicação da metodologia Seis Sigma/DMAIC para melhoria de processos industriais. *Revista Gestão Industrial*, v. 15, n. 1, 2019.

SANTOS, A. C. et al. Fatores e técnicas de produção e sua influência na produtividade e qualidade da soja. In: *XI EEPA – Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial*, 2017. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2017. p. 1–10.

SANTOS, C. A. dos. *Produção de óleo de soja: dimensionamento de equipamentos e elaboração de documentos de engenharia*. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/retrieve/703d9a97-6adc-4032-ab17-274a4528184e/13563.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

SANTOS, D. F.; CASAGRANDE, D. J. Ferramentas da qualidade com ênfase em carta de controle. *Revista Interface Tecnológica*, v. 18, n. 2, p. 784–795, 2021.

SILVA, C. O. et al. Influência do processamento na qualidade proteica de novos cultivares de soja destinados à alimentação humana. *Revista de Nutrição*, v. 23, n. 3, p. 389–397, 2011.

SILVA, J. B. *Características de cultivares de soja convencionais e para consumo humano: análises físicas, químicas e sensoriais (sentidos humanos e sensores eletrônicos)*. 2009. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

USDA – United States Department of Agriculture. *World Agricultural Production*. Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, 2017. Disponível em: <https://www.usda.gov/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

SILVA, M. A. B. et al. Implementação da carta de controle no processo de secagem de uma fábrica de detergente em pó em Pernambuco. [S. l.], 2023.

YUI, M. *Aplicação do ciclo DMAIC em um processo de laminação de embalagens flexíveis*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.