

OTIMIZAÇÃO NO PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA SOJA

Gabriele Santana Alves¹; Giovane Alves Querico¹; Karla de Frias Freitas^{2*}

¹ Graduando em Engenharia de Produção, Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS; ² Mestre em Ciência dos Materiais – UNESP, esp. em Gestão de Projetos – USP, Engenheira de Produção – UFMS, docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS)

* autor correspondente: freitaskarla@gmail.com

RESUMO

Foi elaborado um estudo sobre as possíveis ferramentas de melhoria contínua empregadas na indústria de extração de óleo de soja, particularmente as abordagens que buscam otimizar o processo sem a necessidade de alterações significativas nos equipamentos já instalados. Dada a importância econômica e nutricional do óleo de soja, e a necessidade constante de melhorias em sua produção, a pesquisa objetiva analisar técnicas que mantenham o óleo residual médio em 0,8%, sem exceder o limite de 1%. Para atingir tal objetivo, adotou-se a metodologia de análise documental, embasando-se em alguns trabalhos da literatura. Os resultados evidenciaram o potencial da extração por solvente, identificando práticas otimizadas e ajustes nos parâmetros de extração que podem maximizar o rendimento do óleo. Adicionalmente, procedimentos de controle de qualidade foram revisados, destacando-se oportunidades para minimizar perdas e potencializar a eficiência do processo, assegurando a qualidade do óleo. O monitoramento contínuo dos indicadores de desempenho também se mostrou fundamental, garantindo ajustes precisos para a manutenção dos níveis desejados de óleo residual. Em considerações finais, este trabalho reforça a relevância de se adotar ferramentas de melhoria contínua na indústria agroalimentar, principalmente em um cenário competitivo e em constante evolução. Mesmo sem investimentos significativos em novos equipamentos, é possível obter ganhos expressivos em eficiência e qualidade, contribuindo para a sustentabilidade e rentabilidade do setor de óleo de soja na engenharia de produção.

PALAVRAS-CHAVE: Extração de óleo de soja, melhoria contínua, otimização.

1 INTRODUÇÃO

Descoberta na China, por volta do século XI a.C. (HYMOWITZ, 1970), a soja tem sua primeira ocorrência registrada no Brasil em meados dos anos 1800. No entanto, o cultivo efetivo da soja no país tem início nos anos 1960, seguido por um notável avanço na década de 1970, impulsionado pela demanda internacional e pelo apoio governamental (PARAÍSO, 2001).

A indústria agroalimentar desempenha um papel crucial na economia global, com a produção de óleo de soja

como um segmento de destaque (RHODEN et al., 2020). A otimização da extração de óleo é vital economicamente e para a eficiência operacional, sendo necessário buscar abordagens que maximizem o rendimento sem grandes investimentos em novos equipamentos.

O objetivo deste estudo é descrever ferramentas de melhoria contínua para otimizar a extração de óleo de soja e manter o teor do óleo residual dentro dos limites estabelecidos (média de 0,8%, limite de 1%).

Analizou-se, por meio revisão documental, técnicas e ferramentas de

melhoria contínua que otimizem o processo de extração de óleo do grão de soja, limitando-se a mínimas ou nenhuma alteração nos equipamentos existentes, com o intuito de manter a média do óleo residual em 0,8% e não exceder o limite de 1%. Priorizaram-se medidas que não exigissem grandes mudanças na infraestrutura existente, garantindo eficiência sem dispêndio significativo de capital. A abordagem Lean Six Sigma, juntamente com o ciclo PDCA e Kaizen, foram adotadas para identificar desperdícios e promover a melhoria contínua dos processos.

2 FERRAMENTAS DE MELHORIA CONTÍNUA

As ferramentas de melhoria contínua no setor industrial são técnicas, métodos ou abordagens utilizadas para identificar, analisar e aprimorar processos, sistemas e operações em uma instalação de fabricação, cujo objetivo é aumentar a eficiência, qualidade, segurança e produtividade das operações industriais sem necessidade de investimentos monetários consideráveis.

2.1 Aplicação das ferramentas de melhoria contínua no processo de extração do óleo da soja

Durante o processo de extração de óleo vegetais existem diversos processos, cuja planta industrial é composta por interações variáveis que devem estar devidamente alinhadas para que funcionem (YOSHIMURA; PRADO, 2017).

Devido à complexidade do processo, é inviável promover melhorias realizando ajustes físicos na planta industrial, tornando as ferramentas de melhoria contínua mais amplamente empregada, pois trazem resultados esperados sem perda na eficiência financeira da indústria.

2.2 Kaizen

O Kaizen representa uma filosofia

de melhoria contínua que permeia todos os níveis da organização, desde os operários até a alta direção. Originando-se das palavras japonesas “Kai”, que significa mudança, e “Zen”, que significa para melhor, essa metodologia poderosa impulsiona a eficiência através do envolvimento de todos os membros da organização, visando eliminar desperdícios, resolver problemas e promover melhorias constantes. Utiliza-se ferramentas como PDCA, Brainstorming, 5S, 5 Porquês, Diagrama de Causa e Efeito, 5W2H e o Relatório A3 para alcançar essas melhorias

A singularidade da aplicação do Kaizen está na capacidade de promover mudanças significativas através do esforço humano, dedicação, comunicação eficaz, trabalho em equipe e disciplina, sem depender excessivamente de tecnologias avançadas.

Segundo Rother e Shook (1999), há dois níveis de kaizen, o de fluxo (ou de sistema, que enfoca no fluxo de valor, dirigido ao gerenciamento) e o de processo (que enfoca em processos individuais, dirigido às equipes de trabalho e líderes de equipe).

Hornburg (2009) expande essa definição, destacando que o conceito de Kaizen, desenvolvido por Imai (1990), incorpora várias inovações de gestão japonesa que anteriormente eram tratadas separadamente. Entre essas inovações estão controle da qualidade total, just in time, kanban, zero defeitos, círculos de qualidade, sistemas de sugestões, manutenção produtiva total, orientação para o consumidor, robótica, automação, disciplina no local de trabalho, melhoramento da qualidade, atividades em grupos pequenos, relações cooperativas entre administração e mão de obra, melhoramento da produtividade e desenvolvimento de novos produtos. Segundo Imai (1990), existem dez mandamentos na metodologia kaizen, a saber, eliminação de desperdício; melhorias graduais; envolvimento de todos; estratégia

barata; aplicação universal; gestão visual e transparência; foco no valor; orientação para processos; prioridade às pessoas e, por fim, aprendizagem pela ação.

2.3 Lean Six Sigma

O *Lean Manufacturing*, cuja tradução é manufatura enxuta, propõe a união de duas práticas da filosofia *Lean* e Seis Sigma e trata-se de uma estratégia poderosa, cuja filosofia operacional envolve a análise e redução dos oito desperdícios *Lean* na linha de produção. Deste modo, a utilização de conceitos *Lean* integrados em Seis Sigma, permitem não só a criação de fluxo e eliminação de desperdícios, como a redução da variabilidade promovendo assim, a melhoria contínua (HAMBLETON, 2008).

A metodologia *Lean Seis Sigma* é composta por vários métodos de resolução de problemas, sendo um deles a abordagem DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar e controlar) para resolver problemas e otimizar processos.

2.4 DMAIC

De acordo com Moreira et al. (2022), o DMAIC se trata da metodologia que permite conduzir os projetos de melhoria durante suas cinco etapas, (i) *define* (definir), (ii) *measure* (medir), (iii) *analyse* (analisar), (iv) *improve* (melhorar) e (v) *control* (controlar). Ainda segundo os mesmos autores, esse método promove a utilização de uma ideologia científica que demonstra um conjunto de sequências que estão racionalmente relacionadas com investigação e pela elucidação de uma falha. As etapas do DMAIC englobam os objetivos, (i) definir (*define* – estabelece claramente o problema a ser resolvido, os objetivos do projeto e os requisitos dos clientes; (ii) medir (*measure* – define métricas e coleta dados relevantes para entender o

estado atual do processo e identificar áreas de melhoria; (iii) analisar (*analyze* – analisa os dados para identificar as causas raiz dos problemas e determinar as fontes de desperdício e variação no processo; (iv) melhorar (*improve* – desenvolve e implementa soluções para resolver as causas raiz identificadas, visando a eliminação de desperdícios e a melhoria da eficiência do processo) e (v) controlar (*control* – estabelece controles para monitorar o processo e garantir que as melhorias sejam sustentadas ao longo do tempo).

2.5 5W2H

A ferramenta 5W2H foi desenvolvida como um recurso valioso para a fase de planejamento do ciclo PDCA, originando-se a partir da expertise de especialistas na indústria automobilística do Japão. Segundo Polacinski et al. (2012), esta ferramenta foi concebida para criar um plano operacional claro e abrangente para atividades predefinidas, com o objetivo de antecipar e mapear essas atividades de maneira precisa.

O termo “5W2H” refere-se a sete perguntas fundamentais, what (o que será feito?), why (por que será feito?), where (onde será feito?), when (quando será feito?), who (por quem será feito?), how (como será feito?) e how much (quanto custará?). Essas perguntas estruturam e respondem às nuances das atividades planejadas, fornecendo um guia claro para a implementação eficaz.

A clareza, praticidade e orientação à ação da ferramenta a tornaram amplamente utilizada em diversos contextos, como gestão de projetos, análise de negócios, realização de planos de negócio e planejamento estratégico. Durante esta fase crucial do processo técnico, o objetivo primordial é permitir que todas as atividades planejadas sejam cuidadosamente organizadas e discutidas em

¹ Os 8 desperdícios do Lean Manufacturing: Processamento Impróprio, excesso de produção, estoque,

excesso de transporte, movimentos desnecessários, defeitos e retrabalhos, espera e intelectual (pessoas)

grupo, antes de serem incorporadas ao cronograma de ações de gerenciamento de uma empresa ou instituição. Isso não apenas promove uma implementação organizada, mas também oferece uma compreensão mais profunda e colaborativa das tarefas a serem executadas.

De acordo com o SEBRAE (2008), a ferramenta 5W2H se destaca por sua praticidade, permitindo identificar facilmente as rotinas essenciais de um processo, esboço ou unidade de produção em qualquer estágio. Além disso, ela possibilita identificar claramente as responsabilidades organizacionais, esclarecendo quem são as pessoas envolvidas, o que fazem e por que executam determinadas atividades. Ao fornecer respostas claras a essas perguntas, a ferramenta 5W2H facilita a implementação de soluções de maneira eficaz e eficiente, garantindo que todas as partes interessadas estejam alinhadas e informadas durante o processo.

2.6 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe, é uma ferramenta gráfica utilizada para investigar as relações entre causas e efeitos, ou entre um atributo de qualidade e seus motivos associados (BALLESTERO-ALVAREZ, 2010). Este diagrama permite a segmentação das causas relevantes em categorias secundárias e/ou terciárias.

Para elaborar o diagrama de causa e efeito, uma série de passos pode ser seguida: começando pela identificação do problema a ser estudado (o efeito), seguido pela descrição e catalogação das possíveis causas no diagrama. Em seguida, são agrupadas as causas nas categorias “6M” (mão-de-obra, método, matéria-prima, medida e meio ambiente). Posteriormente, o diagrama é revisado para identificar as causas mais relevantes. Por fim, as correções necessárias para solucionar o problema são implementadas. É relevante destacar

que a elaboração do diagrama de causa e efeito é um processo que se beneficia do brainstorming, uma técnica onde participante de um grupo expõe ideias e conceitos de forma livre e democrática. O diagrama atua como um registro e uma representação dos dados e informações resultantes desse processo (MIGUEL, 2006).

3 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA: MAPEAMENTO E DETALHAMENTO

O processo de produção de óleo de soja engloba diversas etapas meticulosas. Inicia-se com o armazenamento dos grãos, seguido por uma série de procedimentos na preparação, que abarca a pré-limpeza, descascamento, condicionamento, trituração, laminação e cozimento. A extração do óleo bruto é predominantemente realizada por meio da extração com solvente orgânico, empregando o hexano. Este método implica na rápida dissolução do óleo, seguida por uma difusão mais lenta através da parede celular dos grãos laminados (EMBRAPA, 2015).

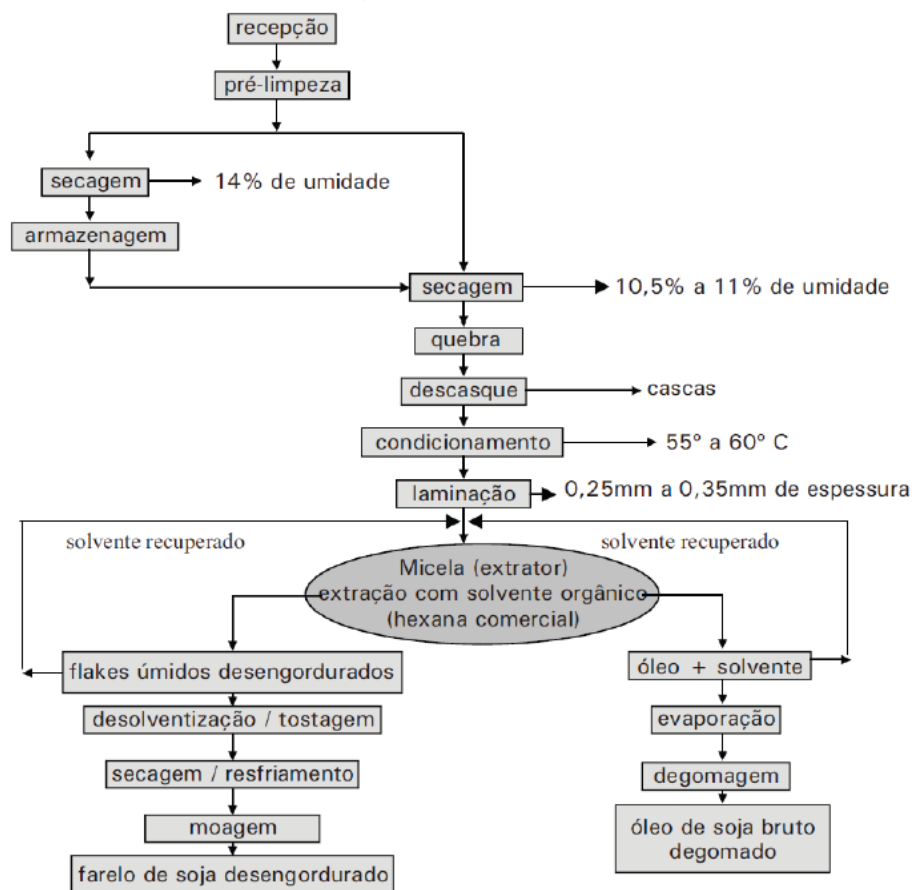
Diversos métodos de extração, como o semicontínuo e o contínuo, apresentam distintas vantagens e desvantagens em termos de eficiência e custo. Após essa etapa, a micela resultante (solução de óleo e solvente) é submetida à destilação para separar o óleo do solvente. A torta resultante passa por processos de dessolventização e tostagem para inativar fatores antinutricionais. A recuperação do solvente revela-se crucial e pode ser executada por meio de compressores de frio ou colunas de absorção com óleo mineral.

O farelo desolventizado é então armazenado após garantir que sua umidade não exceda 12%. Esses procedimentos detalhados desempenham papel fundamental na garantia da eficiência do processo, na qualidade do óleo de soja e na adequação do farelo para uso na

alimentação animal. Embora o uso do hexano como solvente seja prática comum, alternativas como o etanol estão sendo cogitadas devido a preocupações

ambientais. O processo é intrincado, demandando precisão e controle em cada fase para assegurar produtos de elevada qualidade (Figura 1).

Figura 1. Processo de extração de óleo bruto e farelo desengordurado.



Fonte: Extraído de Embrapa, 2015.

4 APLICAÇÃO EM SITUAÇÕES REAIS

A escolha de duas obras para embasar este estudo tem como objetivo comprovar a eficácia da aplicação de ferramentas de melhoria contínua em cenários reais e sua capacidade de alcançar os resultados esperados.

4.1 Justificativa das obras selecionadas

A escolha criteriosa das obras² para embasar este estudo não é aleatória, ambas representam contribuições

significativas no campo da extração de óleo de soja e engenharia de produção.

A primeira obra selecionada delinea o contexto da extração de óleos vegetais, incluindo colza e soja, oferecendo um manual detalhado que aborda tanto as técnicas de extração quanto os parâmetros de otimização. Sua abordagem abrangente proporciona uma compreensão aprofundada dos desafios e soluções associados à extração eficiente do óleo de soja. Ao embasar-se nessa obra, o presente estudo estabelece uma base teórica sólida, permitindo uma análise

² Obra selecionada Nº 01, intitulada Normalização de um processo de extração de óleos vegetais. Análise de variáveis críticas do processo - Autora: Ana Margarida dos Santos Freixo, licenciada em Ciências da Engenharia Química e Bioquímica.

Obra selecionada Nº 02, intitulada Otimização e redução do teor de óleo residual em uma planta de extração de óleo de soja - Autores: Kamila Ayumi Costa Yoshimura e Eduardo Rasi de Almeida Prado, da Universidade Estadual de Maringá.

precisa e relevante dos processos e técnicas envolvidas. Por sua vez, a segunda obra selecionada concentra-se na otimização de processos em pequenas e médias empresas. Sua abordagem prática e orientada para a ação a torna uma referência valiosa. O foco em melhorias contínuas e técnicas de otimização alinha-se de maneira consistente com os objetivos deste trabalho, enfatizando a importância de considerar soluções implementáveis sem grandes alterações

nos equipamentos. Assim, ao integrar as perspectivas dessas duas obras cruciais, este estudo é enriquecido por uma abordagem multidisciplinar. Isso combina o rigor técnico com a aplicabilidade prática, garantindo que as conclusões e recomendações sejam não apenas academicamente fundamentadas, mas também operacionalmente viáveis.

O Quadro 1 apresenta o resumo das obras selecionadas.

Quadro 1. Resumo das obras selecionadas.

Obra	Título da produção	Material	Metodologia	Resultado
Nº 01	Normalização de um processo de extração de óleos vegetais. Análise de variáveis críticas do processo	Dissertação	<i>Kaizen</i> /PDCA	Redução da variabilidade, redução do produto não conforme, ganho de margem
Nº 02	Otimização e redução do teor de óleo residual em uma planta de extração de óleo de soja	Artigo	Lean Seis Sigma/DMAIC	Redução expressiva do teor de óleo residual e maior retorno financeiro

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Obra selecionada nº 01.

O consumo de biodiesel tem crescido globalmente, impulsionado pela preocupação ambiental e regulamentações, como as da União Europeia, que promovem o uso de biocombustíveis. Previsões indicaram aumento no consumo mundial até 2023, mas na Europa, a estagnação é esperada após 2019 devido às restrições aos veículos a diesel em algumas cidades. Com isso, empresas buscaram maximizar margens reduzindo desperdícios e adotando filosofias de gestão eficientes, como o *Kaizen*, que visa melhorias contínuas nos processos de fabricação. Bem como, a normalização dos processos como fator essencial para reduzir a variabilidade, otimizar a integração de novos membros na equipe e aumentar a segurança no trabalho.

Na unidade de produção analisada no estudo, a variabilidade ocorria principalmente nas seções de preparação de sementes oleaginosas e extração de óleos, devido à utilização de diferentes tipos de sementes. Então, propõe-se estabelecer normas específicas para essas

seções após o arranque das máquinas, visando reduzir a complexidade e os custos associados à aprendizagem prolongada.

Ferramentas de qualidade, como *brainstorming* e diagramas de *Ishikawa*, foram utilizadas para determinar as melhores práticas de operação. Ciclos de normalização e melhoria contínua foram aplicados para estabelecer e aprimorar as normas.

A validação das normas incluiu a avaliação das variáveis críticas do processo para ajustar parâmetros e maximizar o rendimento de óleo, diminuir o consumo de vapor e minimizar as perdas de solvente. A implementação dessas normas requereu acompanhamento contínuo e flexibilidade para adaptações, visando otimizar os processos ao longo do tempo.

A autora discute a implementação da metodologia *Kaizen* em quatro níveis distintos. No primeiro nível, o foco foi na organização da equipe, definindo objetivos e responsabilidades individuais. O segundo nível visou organizar o posto de

trabalho, reduzindo desperdícios e otimizando a produtividade com a metodologia 5S. A normalização, no terceiro nível, buscou adotar as melhores práticas, reduzir variabilidades e é apoiada pelo ciclo SDCA. O quarto nível tratou-se da resolução estruturada de problemas, visando melhorias contínuas com ferramentas como o ciclo PDCA.

Enfatiza-se que, a implementação seguiu essa ordem para que as normas se tornassem uma base sólida para a melhoria contínua. A normalização consiste na documentação do processo atual por meio de normas acessíveis a todos na equipe, resultando em benefícios como redução de erros, integração mais rápida de novos membros e aumento da segurança no trabalho.

As normas são classificadas em diferentes níveis hierárquicos. No topo estão as normas internacionais da ISO, seguidas por normas regionais e nacionais. Na base estão as normas empresariais, específicas para uma empresa, sendo divididas em normas de gestão e normas operacionais.

As normas operacionais devem possuir características essenciais, como objetividade, simplicidade, acessibilidade, controle de versões, relação causa-efeito e a capacidade de minimizar áreas de fraqueza nos processos. Devem ser simples e visuais, facilitando a compreensão dos colaboradores e contribuindo para a eficiência e melhoria

contínua dos processos da empresa.

Quanto a implementação da normalização, a autora destaca a importância das Gemba Walks, uma prática onde líderes visitam o local de trabalho para entender os processos e criar normas operacionais eficientes. Destaca-se a necessidade de preparar a equipe, criar um plano estruturado, focar nos processos em vez das pessoas, fazer observações e perguntas, evitar sugerir mudanças imediatas e manter a comunicação com os trabalhadores. Salienta-se a importância de visitar em diferentes horários e retornar ao local para atualizações. Após compreender os métodos de trabalho, sugere-se o uso do ciclo SDCA para criar e consolidar as normas operacionais, promovendo assim a melhoria contínua.

A dissertação discute a aplicação dos ciclos SDCA (*standardize, do, check, act*) e PDCA (*plan, do, check, act*) na implementação de normas em processos, especialmente dentro da filosofia Kaizen, visando melhorias contínuas. Para sustentar a normalização desenvolvida, são utilizadas ferramentas da qualidade, como o diagrama de Ishikawa, fluxograma e diagrama de dispersão. Além disso, são empregadas técnicas como os “5 Porquês”, Brainstorming e Benchmarking para identificar problemas, gerar soluções e comparar processos.

Quadro 2. Métodos de ensaio utilizados para a determinação, em laboratório, do teor em humidade, óleo e hexano nas sementes oleaginosas e derivados

Parâmetro	Método de ensaio	Descrição
Teor de humidade	Método interno ME 20.04	Determinação por secagem – estufa a 103°C
Teor de óleo	Método interno ME 20.03	Determinação por extração com éter de petróleo
Teor de hexano	AOCS Ba 14-87	Cromatografia em fase gasosa com coluna capilar

Fonte: Extraído de Freixo, 2018.

Após a implementação das normas, realiza-se uma análise de dados processuais para verificar a conformidade com o descrito, considerando

informações de funcionamento das instalações entre fevereiro de 2017 e fevereiro de 2018. Os dados são analisados excluindo dias de arranque/paragem das

instalações para eliminar picos e instabilidades. Dados como temperatura, consumo de corrente, níveis de material e velocidade foram coletados por meio do *software Industrial Data Bridge*. Além disso, utilizaram-se dados laboratoriais para determinar os teores de humidade e de hexano e residual de hexano na farinha. Empregaram-se diferentes métodos de ensaio para essa determinação.

Os dados sobre defeitos de preparação, que se referem ao teor de óleo após a segunda extração e são obtidos pelo método de ensaio AOCS Ba 3-38 em laboratório, foram também empregados. O Quadro 2 apresenta o procedimento geral seguido para criar as normas, analisá-las e validá-las. Como indicado na tabela, o processo começou com a compreensão da abordagem dos operadores em ambas as seções, por meio de Gemba Walks com diferentes trabalhadores. Em seguida, foram identificadas ambiguidades nas diferentes tarefas e aplicadas ferramentas de qualidade para determinar a melhor prática a ser adotada. Após essa etapa, as normas foram redigidas. Uma vez concluída essa fase, houve a comparação entre os objetivos e os intervalos de conformidade estabelecidos nas normas e os dados históricos existentes. Essa comparação permitiu identificar os intervalos a serem ajustados e os parâmetros a serem otimizados. Além disso, os dados de defeitos de preparação e extração foram analisados para determinar qual das duas seções exigia maior atenção, direcionando assim a análise das variáveis críticas para otimizar o processo. A implementação dos ciclos SDCA e PDCA ocorre após essa análise das variáveis críticas.

Em resumo, a dissertação descreve um processo de normalização de procedimentos para operações que envolvem colza e soja. Inicia-se com a observação dos métodos de trabalho dos operadores, identificando divergências na execução das tarefas. Reuniões de

brainstorming foram realizadas para estabelecer métodos mais eficazes, documentados em normas utilizando um modelo específico.

Além disso, o texto aborda a consideração de possíveis desvios nos procedimentos normais e a criação de instruções para lidar com essas situações. Ferramentas de qualidade, como diagramas de Ishikawa e a regra dos cinco porquês, foram usadas para identificar causas e soluções para problemas específicos, como elevado residual de óleo nas sementes ou espessura inadequada do laminado. Por fim, foram elaborados documentos detalhados para as seções de preparação das sementes e extração de óleos vegetais, divididos em etapas claras e entregues para correção e validação pelo chefe de fábrica. Essas normas visam padronizar as práticas, garantindo eficiência e consistência nas operações.

Na análise das variáveis operatórias de um processo de extração e des-solventização de óleo a partir de sementes de colza e soja obteve os seguintes tópicos, (i) velocidade do extrator e residual de óleo (existe uma relação linear positiva entre a velocidade do extrator e o residual de óleo, possivelmente devido à diminuição do tempo de extração. Aumentar a velocidade do extrator pode resultar em valores mais elevados de residual de óleo, sugerindo a necessidade de equilibrar a extração química); (ii) impacto da velocidade do extrator no residual de hexano (aumentar a velocidade do extrator pode reduzir o residual de hexano à saída do extrator, diminuindo o consumo de vapor no equipamento de des-solventização); (iii) temperatura de extração (a temperatura de extração afeta significativamente o residual de óleo. Temperaturas mais baixas podem ser explicadas pela instabilidade dos gases durante o processo. Aumentar a temperatura pode ser benéfico, considerando que problemas relacionados à instabilidade dos gases foram minimizados); (iv) humidade dos sólidos (a

humidade das sementes tem uma correlação fraca com o residual de óleo. No entanto, o aumento da humidade pode impactar negativamente a dessolventização, aumentando o consumo de vapor); (v) variáveis operatórias do DTS (um ciclo de SDCA (*standardize, do, check, act*) foi implementado nos níveis do DTS para otimizar o consumo de vapor e o residual de hexano. Reduzir o nível nos primeiros pisos do DTS demonstrou uma redução no consumo de vapor; (vi) temperatura dos gases no DTS (a temperatura dos gases na saída do DTS é crucial para a dessolventização. Intervalos de temperatura foram estabelecidos, mas em alguns casos, as temperaturas estavam próximas ou acima do limite superior. Isso pode ser devido a um possível excesso de vapor no equipamento) e (vii) automação na válvula de controle (a falta de automação na válvula de controle do vapor direto pode levar a temperaturas excessivamente altas no DTS. Propõe-se a substituição dessa válvula por um mecanismo automatizado para ajustar a abertura em resposta às variações de temperatura).

Os tópicos acima fornecem uma análise detalhada das variáveis operacionais e propõem medidas para otimizar o processo de extração e dessolventização de óleo a partir de sementes de colza e soja.

Como resultado, a dissertação analisada se destaca pela implementação bem-sucedida da filosofia Kaizen em processos de preparação de sementes e extração de óleo vegetal. A padronização de processos através da criação de normas foi fundamental para reduzir a variabilidade e facilitar a integração de novos membros da equipe.

Após a definição das normas, houve uma conscientização sobre a importância de segui-las para reduzir a variabilidade operacional e aumentar a

segurança no trabalho. Houve uma revisão dos documentos oficiais para garantir consistência entre os padrões estabelecidos e as práticas existentes.

A análise das variáveis operacionais revelou que uma parte significativa delas estava fora dos limites de conformidade, levando a propostas de novos intervalos para algumas e ações corretivas para outras. Foi enfatizada a importância do rendimento na extração, destacando-se a influência da velocidade do extrator e da temperatura no processo.

Foram identificadas oportunidades de melhoria contínua, como ciclos SDCA e PDCA, demonstrando eficácia na redução de desperdício e na busca por práticas mais eficientes. Além disso, foi sugerida a avaliação econômica para potenciais investimentos em melhorias, como a substituição de válvulas para reduzir o consumo de vapor direto.

Destaca-se ainda, os esforços para aprimorar continuamente os processos, focando na eficiência operacional e na redução de variabilidades para aumentar a qualidade e segurança no ambiente de trabalho.

4.3 Obra selecionada nº 02.

A problemática identificada reside na crescente perda de óleo residual na torta de soja ao longo de vários anos. As médias do teor de óleo residual entre 2012 e 2015 revelaram uma tendência preocupante, indicando uma oportunidade de negócio para a cooperativa visando otimizar a eficiência da extração e, conseqüentemente, incrementar o faturamento (Gráfico 1).

A notável elevação do teor de óleo residual foi constatada após a empresa alvo deste estudo realizar um investimento na substituição de um equipamento, resultando na alteração do modelo e capacidade do mesmo. A transição foi feita de um extrator do tipo LM³,

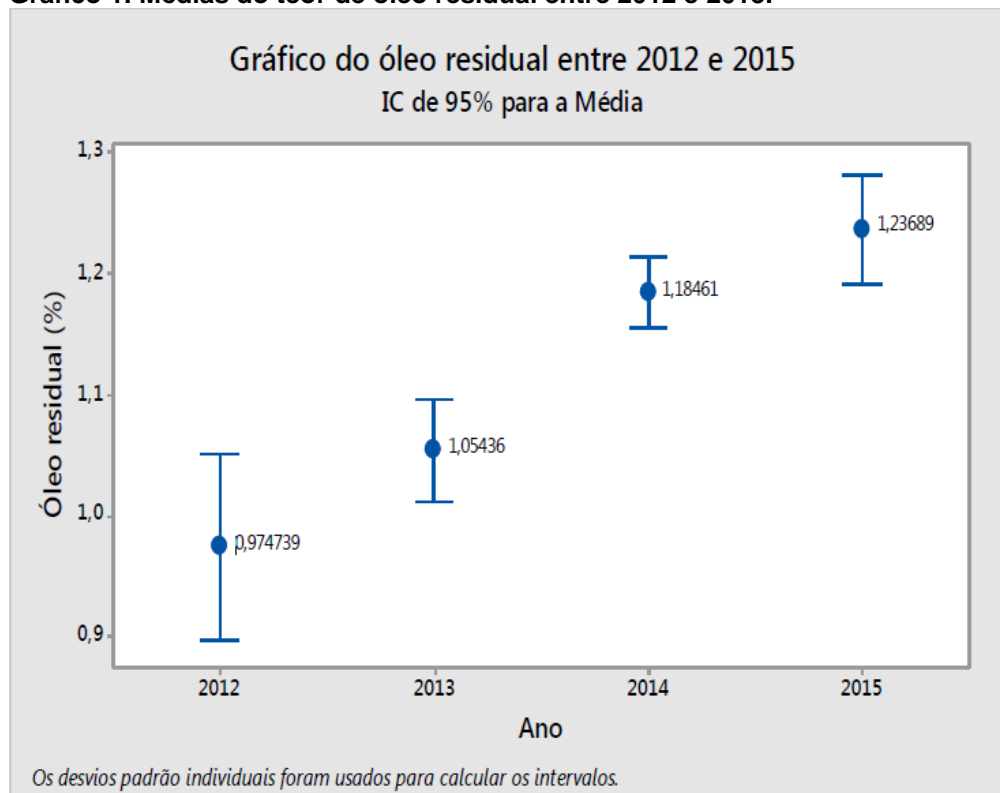
³ LM - Para maximizar o tempo de contato, a sequência de imersão inicial do LMTM permite que o material da semente oleaginosa seja completamente envolvido pela miscela. O

material entra por um funil de entrada e logo fica saturado com miscela – a extração começa imediatamente após a entrada. Após a saturação inicial, o leito de material é

com capacidade de 2.500 TPD⁴ (50% de massa expandida), para um do tipo reflex, com funcho fixo, aumentando a capacidade para 3.000 TPD (50% de massa expandida), e quando operando a 100% da massa expandida, a

capacidade do extrator tornou-se 3.500 TPD. Após a implementação do novo equipamento, o teor médio de óleo residual, que deveria ser em torno de 0,7%, ascendeu de 0,97% em 2012 para 1,23%, em 2015.

Gráfico 1. Médias do teor de óleo residual entre 2012 e 2015.



Fonte: Extraído de Yoshimura e Prado, 2017.

Os autores direcionaram seus esforços para manter o teor médio de óleo residual em 0,8%, não ultrapassando o limite superior de 1%, sem promover mudanças significativas nos equipamentos já instalados na planta industrial. Para alcançar esse objetivo, o projeto concentrou-se na otimização do processo de extração de óleo, empregando a metodologia Lean Seis Sigma, cuja viabilidade foi alcançada por meio da aplicação da ferramenta DMAIC.

Na etapa de definição, foi realizada uma análise minuciosa do processo de obtenção de óleo bruto e farelo desengordurado. Durante esse estágio, os

autores identificaram o que denominaram de “apresentação da oportunidade”.

Na etapa de medição, um estudo das causas fundamentais e de suas métricas foi conduzido pelos autores. A análise se concentrou nos elementos capazes de impactar diretamente o rendimento do óleo extraído, visando estabelecer métricas e parâmetros para padronizar o processo de forma abrangente. Esse processo incluiu a minuciosa avaliação dos dados do banco de dados da fábrica e a criteriosa revisão da confiabilidade das análises laboratoriais.

Após a formulação da matriz de causa e efeito, em colaboração estreita

continuamente lavado com estágios de miscela em contracorrente.

⁴ TPD – Toneladas por dia.

com a equipe operacional, identificaram-se diversos fatores primordiais que influenciam o rendimento do óleo de soja na torta. Entre eles estão a presença de fragmentos de soja que passam sem receber o banho de solvente no extrator, ajustes de pressão nos laminadores, qualidade e porcentagem da massa expandida - cuja correta quebra e condicionamento são essenciais para a extração adequada do óleo - além de regulações gerais das máquinas, umidade de entrada da soja, espessura da lâmina, ausência de vapor no processo, entre outros.

Nessa fase, após o levantamento das possíveis causas fundamentais, foram conduzidos ensaios na fábrica, consultorias e benchmarking. Adicionalmente, foi elaborado um 5W2H, resultando em esclarecimentos essenciais. Por exemplo, o intervalo de espessura das lâminas foi ajustado de [0,25; 0,35] mm para [0,32; 0,28] mm. Houve uma alteração estrutural para adicionar um *redder* transportador, aumentando o transporte da massa expandida para o extrator de 50% para 70%, o que, conseqüentemente, melhorou a eficiência da extração de óleo da massa em 25%.

Na fase de análise, o foco reside em capacitar a equipe do projeto para identificar oportunidades de melhoria ao examinar minuciosamente os dados e determinar as causas subjacentes aos problemas do processo e suas ineficiências. Este estágio visa compreender por que defeitos são gerados por variáveis-chave identificadas na fase de medição. Para alcançar esse objetivo, foi conduzida uma análise do *layout* da planta, resultando no redesenho do mapa futuro. Este redesenho incorporou modificações estruturais e apresentou melhorias significativas.

Para compreender a raiz dos problemas, foi empregada a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), permitindo a criação de um plano de ação preventivo/corretivo para

todas as possíveis falhas do processo. Os diferentes fatores do processo foram detalhadamente examinados, e suas possíveis formas de falha foram analisadas e pontuadas com base na Severidade, Ocorrência e Probabilidade de Detecção, gerando um indicador conhecido como RPN - *Risk Priority Number* (Número de Priorização de Risco). Quanto maior a pontuação RPN, maior a prioridade para resolver o respectivo fator. Posteriormente, uma abordagem estatística, como a Análise de Clusters, foi utilizada para determinar a configuração mais eficaz dos parâmetros.

O Gráfico 2 apresenta a última parte de análise de *clusters* em que o grupo “Ñ 2” representa todos os outros clusters agrupados, e o grupo “2” mostra a melhor configuração para cada parâmetro.

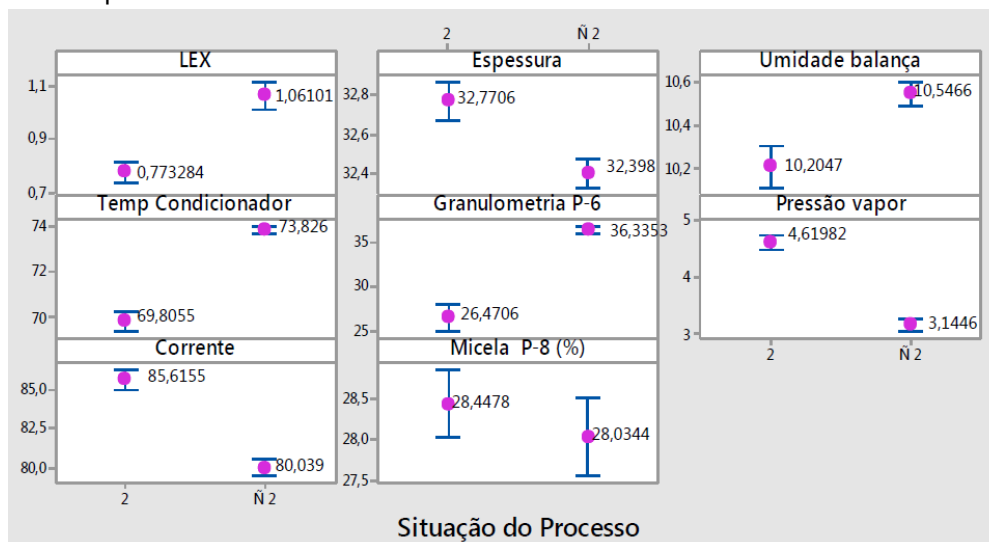
Na etapa de melhoria, foi concebido um plano contendo vinte e duas ações estratégicas para serem executadas durante a parada na entressafra, que durou um mês. Durante esse período, todas as alterações do layout do mapa futuro foram implementadas. Uma das soluções priorizadas foi a implementação de um plano de TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total). Esse plano inclui a elaboração de um checklist das atividades diárias dos operadores, a criação de Lições de Um Ponto para detalhar os procedimentos passo a passo, o uso de representações visuais dos equipamentos para facilitar a gestão visual das rotinas, a padronização das operações de comunicação e, por fim, a contratação de um mecânico exclusivamente para os cuidados dos laminadores, identificados como uma das causas fundamentais da variação no teor de óleo residual.

A decisão de contratar um mecânico dedicado aos laminadores foi embasada em uma análise de custo-benefício. Essa decisão foi respaldada pela evidência da redução do lead time no subprocesso “solicitação de serviço para o

mecânico”. Inicialmente composto por sete etapas, com a entrada do especialista, o processo foi simplificado para quatro etapas, eliminando três ações

sem valor (NVAs) e resultando em uma redução significativa do lead time, de 3 dias para apenas 2 horas.

Gráfico 2. Última parte de análise de clusters. Gráfico de intervalos dos indicadores do processo (IC de 95% para a média. Os desvios padrão individuais foram usados para calcular os intervalos.



Fonte: Adaptado de Yoshimura e Prado, 2017.

Na fase de controle, marcando o desfecho do projeto, a padronização das operações foi realizada por meio da estruturação do 5W2H, um método que definiu "o quê, por que, onde, quem, quando, como e quanto custa", visando aprimorar a comunicação entre os operadores e o responsável pela manutenção. Posteriormente, um treinamento operacional foi conduzido para instruir todos os envolvidos nesse procedimento.

Neste estágio, foram desenvolvidas a Matriz de Controle e o Plano OCAP (Planos de Ação para Processos Fora de Controle) para abordar trinta e um possíveis erros no processo e definir as ações a serem tomadas caso esses erros ocorram.

O Controle Estatístico de Processo (CEP) foi adotado para analisar e monitorar o processo. Essa ferramenta pode ser considerada tanto preventiva quanto corretiva. Implementar o CEP em uma empresa requer considerações específicas para garantir que os critérios de

controle sejam efetivamente utilizados para monitorar e melhorar o processo. O CEP é uma ferramenta valiosa que auxilia na manutenção da variável y (teor de óleo residual na torta) dentro dos limites desejados - USL (Limite Superior) de 1,00% e média de 0,8%. Para alcançar esse objetivo, é crucial manter sob controle os poucos e vitais fatores representados pelos x s.

O Controle Estatístico do Processo (CEP) utilizado ao longo de diferentes estágios do projeto permitiu analisar os resultados, segmentando-os por períodos em que ocorreram grandes alterações na produção. Durante esse processo, várias melhorias foram consolidadas, incluindo a revisão do FMEA, a atualização do Mapa Futuro, a institucionalização do TPM, a implementação da Matriz de Controle, o desenvolvimento do Plano OCAP (Plano de Ação para Casos Fora de Controle), a criação de um novo procedimento operacional e a realização de treinamentos operacionais.

Os resultados do projeto indicaram

uma redução significativa no teor de óleo residual, alcançando médias dentro dos limites de controle e próximas ao limite inferior de especificação. A correlação entre a diminuição do teor de óleo, a eficiência do processo e o retorno financeiro evidenciou os substanciais benefícios do projeto.

Em síntese, o projeto Lean Seis Sigma adotou uma abordagem abrangente e estruturada, resultando em melhorias significativas no processo de extração de óleo, com impactos positivos nos resultados financeiros da cooperativa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obra selecionada número 01 destaca a importância da normalização e da filosofia Kaizen na otimização de processos de produção de biodiesel, com foco na redução de desperdícios, melhoria contínua e aumento da eficiência. Ao estruturar um plano detalhado, desde a análise das variáveis operacionais até a implementação e controle das normas, a obra ressalta a relevância de seguir uma metodologia específica para alcançar resultados consistentes e mensuráveis.

A implementação das normas operacionais, detalhadas com base em metodologias de qualidade e validadas por meio de análise de dados, demonstra a preocupação em padronizar práticas para garantir eficiência, redução de erros e maior segurança no trabalho. A ênfase na análise detalhada das variáveis operacionais e na proposição de soluções específicas reflete um comprometimento com a excelência operacional.

Já na obra selecionada número 02, o enfoque está na otimização do processo de extração de óleo residual na torta de soja. Utilizando a metodologia Lean Seis Sigma, os autores buscaram identificar causas fundamentais para a elevação do teor de óleo residual após a substituição de equipamentos na empresa estudada.

A abordagem estruturada desde a definição do problema até a implementação de melhorias, passando pela análise minuciosa das causas e efeitos, é uma característica marcante desta obra. A utilização de ferramentas específicas, como o DMAIC e o CEP, para identificar e corrigir problemas, além da ênfase na padronização e controle contínuo, evidencia a busca pela excelência e eficiência operacional.

Ambas as obras ressaltam a importância da padronização, controle de processos e busca incessante por melhorias para atingir eficiência, redução de desperdícios e aumento da qualidade nos processos industriais, cada uma utilizando metodologias e abordagens específicas para alcançar esses objetivos.

As ferramentas de melhorias contínuas desempenham um papel crucial na otimização de processos industriais, elas não apenas possibilitam uma análise minuciosa dos procedimentos existentes, mas também fornecem insights valiosos que são essenciais para a tomada de decisões informadas.

Além disso, a grande vantagem dessas ferramentas é que sua implementação não requer investimentos monetários significativos, esses ajustes podem ser realizados com pouca ou nenhuma alteração na infraestrutura da planta industrial, o que não apenas economiza custos, mas também minimiza qualquer interrupção nas operações. Dessa forma, as organizações podem aprimorar a eficiência, reduzir desperdícios e melhorar a qualidade dos produtos ou serviços sem comprometer suas finanças.

Ainda, ao adotar práticas de melhoria contínua, as empresas também promovem uma cultura de aprendizado e inovação dentro da organização. Isso não apenas aumenta a satisfação dos funcionários, mas também fortalece a capacidade da empresa de se adaptar rapidamente às mudanças no mercado e nas demandas dos clientes.

Em resumo, é fundamental reconhecer o valor das ferramentas de melhoria contínua e sua capacidade de impulsionar o crescimento sustentável das organizações, promovendo ao mesmo tempo a eficiência operacional e a competitividade no mercado.

REFERÊNCIAS

BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. Gestão de Qualidade, Produção e Operações. São Paulo: Atlas, 2010.

FREIXO, A. M. dos S. Normalização de um processo de extração de óleos vegetais. Análise de variáveis críticas do processo. Tese de Doutorado. 2018.

HORNBURG, S. et al. Método para eventos Gemba kaizen. 2009.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. Econ. Bot., 1970.

MIGUEL, P. A. C. Qualidade: enfoques e ferramentas. 1 ed. São Paulo: Artliber, 2006.

PARAÍSO, P. R. Modelagem e análise do processo de obtenção do óleo de soja. Campinas, 2001, 200 p. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade de Campinas (Unicamp), 2001.

POLACINSKI, E. et al. Implantação dos 5Ss e proposição de um SGQ para uma indústria de erva-mate. Gestão Estratégica: Empreendedorismo e Sustentabilidade - Congresso Internacional de Administração, 2012. Disponível em

<<http://www.admpg.com.br/2012/down.php?id=3037%20&q=1>>. Acesso em: 22 maio 2023.

RHODEN, A. C. et al. Análise das tendências de oferta e demanda para o grão, farelo e óleo de soja no Brasil e nos principais mercados globais. Desenvolvimento Em Questão, v. 18, n. 51, p. 93-112, 2020. doi: 10.21527/2237-6453.2020.51.93-112

ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

SEBRAE. Ferramenta: 5W2H - Plano de ação para empreendedores. Estratégia e Gestão. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/5W2H.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SILVA, C. C. R. et al. A utilização do DMAIC na análise de acidente do trabalho. Revista Pesquisa E Ação, v. 8, n. 1, p. 1-18, 2022. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/1060>>. Acesso em: 27 ago. 2023.

YOSHIMURA, K. A. C.; PRADO, E. R. de A. Otimização E Redução Do Teor De Óleo Residual Em Uma Planta De Extração De Óleo De Soja. Engevista, v. 19, n. 2, p. 373 maio 2017. doi: 10.22409/engevista.v19i2.844.