



USO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE DE CAUSA RAIZ PARA MITIGAÇÃO DE SUB-PENEIRAMENTO EM *PLANSIFTERS* NA MOAGEM INDUSTRIAL DE TRIGO

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LAS CAUSAS FUNDAMENTALES PARA MITIGAR EL SUB-CRIBADO EN LOS *PLANSIFTERS* EN LA MOLINADURA INDUSTRIAL DEL TRIGO

USE OF THE ROOT CAUSE ANALYSIS METHODOLOGY TO MITIGATE UNDER-SIEVING IN *PLANSIFTERS* IN INDUSTRIAL WHEAT MILLING

Aline Valones Rodrigues de Araújo¹; Felipe Pedro da Costa Gomes²; Osvaldo Felipe Lima dos Santos³; André Gomes da Silva⁴; Gabriela Valones⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/VIICIAGRO.0162>

RESUMO

A moagem industrial do trigo (*Triticum aestivum*) é um setor estratégico da agroindústria global que exige rigoroso controle de qualidade e rendimento operacional. O processo é baseado em ciclos de redução mecânica e classificação granulométrica, nos quais a eficiência global da planta depende diretamente da precisão milimétrica do peneiramento realizado em compartimentos de peneira plana (*plansifters*). Este artigo tem como objetivo apresentar uma abordagem prática da engenharia de processos aplicada à mitigação do sub-peneiramento em *plansifters*, demonstrando sistematicamente o fluxo entre o diagnóstico de desvios operacionais e a estabilização do processo produtivo. A fundamentação teórica está embasada na dinâmica de classificação granulométrica, regida pelos fenômenos de segregação do leito de partículas e pelas leis estatísticas de probabilidade de passagem através da malha, além de ferramentas de Gestão de Controle Total da Qualidade (do inglês, *Total Quality Management - TQM*), como a técnica dos 5 Porquês e o método *5W2H*. Do ponto de vista econômico, foi discutida a interdependência entre investimentos de capital (*Capex*) e despesas operacionais (*Opex*). Metodologicamente, a pesquisa está configurada como um estudo de caso aplicado, de natureza quanti-qualitativa e caráter descritivo-intervencionista em uma unidade de moagem industrial de trigo. A partir de um diagnóstico prévio indicando que 28% das seções operavam em regime de sub-peneiramento, foi aplicada a análise de causa raiz (5 Porquês) para mapear falhas como o uso de telas incorretas ou desgastadas, falta de padrões visuais e ausência de cronogramas de troca. Em seguida, estruturou-se um plano de ação via *checklist 5W2H* utilizando exclusivamente recursos contidos no orçamento anual (*Opex*) da unidade. Como resultados principais, as intervenções executadas nos equipamentos resultaram em um incremento médio de 0,5% no rendimento de extração de farinha. Esse ganho percentual equivale a um aumento volumétrico de aproximadamente 100 toneladas de farinha por mês. Deste modo, foi possível verificar que a aplicação integrada de ferramentas de engenharia de processos e soluções de baixo custo (*Opex*) é altamente eficaz para restaurar o balanço de massa e mitigar gargalos silenciosos de sub-peneiramento sem a necessidade de paradas extensas ou novos ativos de capital (*Capex*). O aumento produtivo otimiza o balanço de massa da planta e amplia a capacidade de fornecimento contínuo para o mercado panificador local.

Palavras-Chave: engenharia de processos, otimização industrial, *5W2H*, classificação granulométrica, rendimento de extração.

¹Graduada em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), alinevalones@gmail.com

²Professor Adjunto, UFPE, felipe.pcgomes@ufpe.br

³Graduando em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), osvaldo.felipe@ufape.edu.br

⁴Graduando em Tecnologia em Gestão Ambiental, Estácio, andregomes1983@gmail.com

⁵Professora Adjunta, UFAPE, gabriela.valones@ufape.edu.br

RESUMEN

La molienda industrial del trigo (*Triticum aestivum*) es un sector estratégico de la agroindustria mundial que exige un riguroso control de calidad y un alto rendimiento operativo. El proceso se basa en ciclos de reducción mecánica y clasificación granulométrica, en los que la eficiencia global de la planta depende directamente de la precisión milimétrica del tamizado realizado en compartimentos de tamiz plano (plansifters). El objetivo de este artículo es presentar un enfoque práctico de la ingeniería de procesos aplicado a la mitigación del subcribado en los plansifters, demostrando de forma sistemática el flujo entre el diagnóstico de las desviaciones operativas y la estabilización del proceso productivo. La base teórica se sustenta en la dinámica de la clasificación granulométrica, regida por los fenómenos de segregación del lecho de partículas y por las leyes estadísticas de probabilidad de paso a través de la malla, además de herramientas de Gestión de la Calidad Total (del inglés, Total Quality Management - TQM), como la técnica de los 5 «porqués» y el método 5W2H. Desde el punto de vista económico, se analizó la interdependencia entre las inversiones de capital (Capex) y los gastos operativos (Opex). Desde el punto de vista metodológico, la investigación se configura como un estudio de caso aplicado, de naturaleza cuantitativo-cualitativa y de carácter descriptivo-intervencionista, realizado en una unidad de molienda industrial de trigo. A partir de un diagnóstico previo que indicaba que el 28 % de las secciones funcionaban con un nivel de tamizado insuficiente, se aplicó el análisis de causas raíz (los 5 «porqués») para identificar fallos como el uso de tamices incorrectos o desgastados, la falta de estándares visuales y la ausencia de calendarios de sustitución. A continuación, se estructuró un plan de acción mediante la lista de verificación 5W2H utilizando exclusivamente recursos incluidos en el presupuesto anual (Opex) de la unidad. Como resultados principales, las intervenciones realizadas en los equipos dieron lugar a un incremento medio del 0,5 % en el rendimiento de extracción de harina. Este aumento porcentual equivale a un incremento volumétrico de aproximadamente 100 toneladas de harina al mes. De este modo, se pudo comprobar que la aplicación integrada de herramientas de ingeniería de procesos y soluciones de bajo coste (Opex) resulta altamente eficaz para restablecer el balance de masa y mitigar los cuellos de botella ocultos de subcribado sin necesidad de paradas prolongadas ni de nuevos activos de capital (Capex). El aumento de la producción optimiza el balance de masa de la planta y amplía la capacidad de suministro continuo al mercado panadero local.

Palabras Clave: ingeniería de procesos, optimización industrial, 5W2H, clasificación granulométrica, rendimiento de extracción.

ABSTRACT

The industrial milling of wheat (*Triticum aestivum*) is a strategic sector of the global agribusiness industry that requires rigorous quality control and operational efficiency. The process is based on cycles of mechanical reduction and particle size classification, in which the plant's overall efficiency depends directly on the millimeter-level precision of the sieving performed in flat-screen compartments (plansifters). This article aims to present a practical approach to process engineering applied to mitigating undersizing in plansifters, systematically demonstrating the flow from the diagnosis of operational deviations to the stabilization of the production process. The theoretical framework is grounded in the dynamics of particle size classification, governed by particle bed segregation phenomena and the statistical laws of probability of passage through the mesh, as well as Total Quality Management (TQM) tools, such as the 5 Whys technique and the 5W2H method. From an economic perspective, the interdependence between capital expenditures (Capex) and operating expenses (Opex) was discussed. Methodologically, the research is designed as an applied case study, of a quantitative-qualitative nature and with a descriptive-interventionist approach, conducted at an industrial wheat milling facility. Based on a preliminary assessment indicating that 28% of the sections were operating under undersizing conditions, a root cause analysis (5 Whys) was applied to identify issues such as the use of incorrect or worn screens, a lack of visual standards, and the absence of replacement schedules. Next, an action plan was structured using a 5W2H checklist, relying exclusively on resources contained within the facility's annual operating budget (OPEX). As key results, the interventions carried out on the equipment led to an average increase of 0.5% in flour extraction yield. This percentage gain is equivalent to a volumetric increase of approximately 100 metric tons of flour per month. Thus, it was confirmed that the integrated application of process engineering tools and low-cost (OPEX) solutions is highly effective in restoring the mass balance and mitigating silent bottlenecks caused by undersizing, without the need for extended shutdowns or new capital assets (CAPEX). The increase in production optimizes the plant's mass balance and expands its capacity for continuous supply to the local bakery market.

Keywords: process engineering, industrial optimization, 5W2H, particle size distribution, extraction yield.

INTRODUÇÃO

A moagem industrial do trigo (*Triticum aestivum*) constitui um dos setores mais tradicionais e estrategicamente importantes da agroindústria global (Klein; Vidal Luna, 2024). Sendo esse setor exigente e rigoroso no que se diz respeito a qualidade e também rendimento operacional. Nesse ambiente industrial, ocorre o processamento e transformação do grão de trigo em farinha, permitindo a produção de pães, massas e diversos outros produtos da cadeia alimentar. O processo de moagem desse grão baseia-se em ciclos de redução mecânica por rolos de moagem e classificação granulométrica por densidade e tamanho de partículas. No cenário industrial nacional, a eficiência da moagem e do rendimento dependem do controle estrito das frações granulométricas extraídas ao longo do fluxograma (Kalitsis, 2021).

Além disso, o diagnóstico isolado (técnica de enfarinhamento) perde valor se a indústria não possuir uma metodologia ágil e estruturada para converter anomalias granulométricas em ações corretivas na planta. Sob este viés, é de extrema importância o equilíbrio do fluxograma e a sensibilidade econômica da extração de farinha.

Nesse contexto, o presente trabalho se dedica a análise do subsistema de classificação granulométrica, especificamente nos compartimentos de peneira plana (*plansifters*). Esses equipamentos são estritamente responsáveis por desmembrar o endosperma triturado, segregando a farinha comercial e guiando as frações mais rústicas do grão para as etapas subsequentes de moagem ou para a composição de subprodutos, como o farelo de trigo.

A eficiência global de um moinho está essencialmente ligada à precisão milimétrica dessas passagens de peneiramento (Wichoski; Torres, 2022). Diante dessa exposição, o problema que motiva essa investigação se deve ao seguinte questionamento: como diagnosticar, separar e diminuir desvios operacionais de classificação que dificultam o rendimento de extração sem a necessidade de paradas extensas ou investimentos de capital? Consta-se que desvios no processamento diminuem o aproveitamento da matéria-prima e gera diminuição no rendimento que está ligado diretamente com o faturamento da empresa (Oliveira *et al.*, 2024). A hipótese indicada neste estudo é que a ocorrência do sub-peneiramento atua como um gargalo silencioso que desvia farinha nobre para os canais de farelo, e que a aplicação de ferramentas de análise e metodologias de causa e raiz permitem restaurar o balanço de massa do fluxograma de produção da indústria por meio de ajustes operacionais.

Em estudo prévio focado no diagnóstico granulométrico de um moinho de trigo (Araújo *et al.*, 2025; Araújo *et al.*, 2023), identificou-se que 28% das seções de peneiramento operavam em regime de sub-peneiramento. Todavia, a pesquisa anterior limitou-se ao diagnóstico analítico da técnica de enfarinhamento. O presente trabalho estende essa investigação, focando na análise de

causa raiz e no plano de ação estruturado para mitigar tais anomalias.

Na gestão agroindustrial moderna, a consolidação de melhorias sustentáveis e de longo prazo exige que a empresa vá além do simples diagnóstico estatístico de dados brutos. É necessário evoluir para a aplicação de metodologias estruturadas de análise de causa raiz e sistemas de controle total da qualidade (*Total Quality Management - TQM*).

Para preencher essa lacuna, esse artigo tem como objetivo apresentar uma abordagem prática da engenharia de solução de problemas aplicada à indústria de moagem de trigo, demonstrando o passo a passo sistemático entre a identificação de um desvio e a estabilização do processo produtivo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dinâmica e eficiência de classificação granulométrica em *plansifters*

O processo de moagem do trigo se caracteriza pelo princípio de funcionamento contínuo (Constantin *et al.*, 2021). A eficiência global do esquema de fluxo depende essencialmente da execução dos compartimentos de peneira plana (*plansifter*). O peneiramento industrial é um processo estatístico regulado por duas sub etapas, segundo a teoria de separação de sólidos: segregação do leito de partículas e a probabilidade de passagem através da malha da tela (Tian *et al.*, 2022).

Dentro dessa dinâmica de fluxo contínuo, o *plansifter* atua como um elemento regulador e direcionador do balanço de massa da planta. Sua função técnica consiste em classificar com precisão as frações resultantes de cada passagem pelos rolos cilíndricos, sejam eles de quebra, raspagem ou redução, e direcioná-las diretamente para a etapa subsequente correta do diagrama de moagem. Qualquer perda de eficiência dentro dessa classificação rompe a continuidade do processo, provocando a recirculação desnecessária do produto (Xiao *et al.*, 2022).

A primeira sub etapa essencial para que o peneiramento ocorra é o fenômeno da segregação do leito de partículas. Quando a mistura heterogênea de sêmolos, farinhas e frações de cascas entra na caixa do equipamento, o movimento de oscilação circular horizontal induz uma reorganização baseada no tamanho e na densidade dos sólidos (Constantin *et al.*, 2021).

Por meio de efeito de percolação inversa, as partículas de menor tamanho e maior densidade, encontram vazios entre os fragmentos maiores e migram verticalmente para em direção à base do leito, entrando em contato direto com a tela. Ao mesmo tempo, as partículas maiores e de menor densidade, flutuam e são empurradas para a superfície. Sem essa estratificação prévia, as partículas finas ficam retidas no topo do leito, impossibilitadas de alcançar a superfície da triagem.

Uma vez que as partículas finas atingem a base do leito, o processo passa a ser governado pelas leis estatísticas da probabilidade de passagem através da malha. Essa probabilidade é máxima para as partículas significativamente menores do que a abertura útil da tela. À medida que o diâmetro da partícula se aproxima da dimensão exata da abertura da malha, a chance da passagem diminui drasticamente e se eleva o risco de entupimento dos canais de filtragem (Konkubaeva *et al.*, 2025).

Além da relação de tamanho, o comportamento dinâmico do material sobre o tecido desempenha um papel crucial: o movimento oscilatório deve ser calibrado para garantir o tempo de residência necessário para que o sólido atravesse os vãos. Por fim, o rendimento operacional da planta está diretamente ligado pela área aberta útil da tela, de modo que quanto maior o percentual de área perfurada em relação ao tecido total, maior será a capacidade de vazão e a pureza da farinha extraída (Renzo *et al.*, 2023).

Ferramentas de engenharia de processos e análise de causa raiz (5 Porquês e 5W2H)

No âmbito da engenharia de processos e da gestão da qualidade total, a ocorrência de desvios operacionais crônicos, tais como o sub-peneiramento e a perda de eficiência granulométrica em sistemas de moagem de trigo, exige a aplicação de metodologias estruturadas que transcendam a mera mitigação de sintomas superficiais, uma vez que a estabilização definitiva de plantas industriais contínuas se fundamenta na identificação, isolamento e eliminação das causas reais das falhas (Lemos, 2022). Para diminuir desvios referentes ao desempenho em sistemas de fluxos agroindustriais, a engenharia de processos recorre a recursos de *TQM* (Acqua *et al.*, 2022; Akanmu *et al.*, 2021; Hassan; Jaaron, 2021).

O desfecho de problemas complexos exige ir além dos sintomas e identificar os fatores que originaram o problema. A técnica dos 5 Porquês está fundamentada em uma linha reta de causa e efeito até que se localize a causa raiz de uma anomalia, seja decorrente de falha mecânica, inadequação na escolha de materiais ou ausência de protocolos operacionais (Freitas *et al.*, 2021).

A técnica dos 5 Porquês, oriunda do Sistema *Toyota* de Produção e amplamente consolidada na literatura de engenharia de manufatura e processos por autores como Silva e Souza Junior (2022), baseia-se no princípio da causalidade linear iterativa. Desse modo, ao se deparar com uma não conformidade no fluxo produtivo, como o desvio granulométrico ou a retenção inadequada de farinha no *plansifter*, a equipe de engenharia deve aplicar perguntas sucessivas para aprofundar o diagnóstico.

A relevância científica desta ferramenta reside na sua capacidade de romper a barreira do diagnóstico imediatista, frequentemente limitado a falhas humanas ou a danos superficiais em

componentes isolados, permitindo alcançar deficiências de governança, erros de dimensionamento ou lacunas nos planos de manutenção preventiva (Santos, 2024). Na moagem industrial do trigo, por exemplo, o entupimento sistemático de uma tela de peneiramento pode revelar, após sucessivas iterações causais, que a raiz do problema não reside na qualidade intrínseca do *nylon* da malha, mas sim numa falha crônica de calibração na taxa de adição de água durante a etapa prévia de condicionamento do grão.

Uma vez mapeada e compreendida a causa raiz do problema por meio dos 5 Porquês, a engenharia de processos exige uma transição rápida do diagnóstico analítico para a intervenção prática na planta industrial, sendo neste ponto que o *5W2H* (*What, Why, Where, When, Who, How, How Much*) se estabelece como um importante vetor de execução, governança e padronização (Inácio *et al.*, 2023). Esta ferramenta elimina por completo controvérsias operacionais ao estruturar um plano de ação detalhado, quantificável e transparente, delimitando o que será feito para corrigir o desvio, por que razão essa ação específica neutralizará a causa raiz, onde o componente será intervencionado na planta, quando a manutenção ocorrerá para minimizar o impacto no fluxo contínuo, quem assumirá a responsabilidade técnica, de que forma o procedimento operacional padrão será executado e qual o montante de *Opex* necessário para o investimento (Cioffi; Okada, 2022). Deste modo, a gestão de perdas na indústria alimentícia, a ausência de um desdobramento claro e padronizado de ações através do *5W2H* resulta frequentemente na reincidência de falhas operacionais devido à execução parcial ou inadequada das contramedidas propostas (Oliveira *et al.*, 2024).

Com isso, a integração metodológica dos 5 Porquês com o *5W2H* cria um ciclo fechado de melhoria contínua que otimiza o balanço de massa e a eficiência geral dos equipamentos (*Overall Equipment Effectiveness* - *OEE*) em sistemas agroindustriais complexos (Paula; Gambi, 2023). Enquanto a primeira ferramenta atua de forma precisa e retrospectiva para decifrar a engenharia reversa da falha mecânica ou operacional, a segunda age de forma prática e prospectiva, assegurando que o conhecimento técnico adquirido seja formalizado em rotinas diárias sustentáveis que evitam o desperdício de capital e garantem que as soluções adotadas sejam economicamente viáveis e cientificamente validadas para manter a estabilidade do rendimento fabril a longo prazo (Galegos, 2023).

Economia de processos: dinâmicas entre *Capex* e *Opex* na agroindústria

Na engenharia de processos, toda tomada de decisão técnica deve ser validada por uma análise de viabilidade econômica. No âmbito da gestão de ativos industriais, os investimentos financeiros são divididos em duas categorias principais: os investimentos em capital (*Capex* -

Capital Expenditure) e as despesas operacionais (*Opex - Operational Expenditure*).

O investimento *Capex* na agroindústria representa não apenas a expansão física da planta, mas também aquisição de tecnologias de alta performance (Santana *et al.*, 2023). Sistemas como automatização de dosagem de água para condicionamento de grãos, rolos compressores com ligas de alta resistência mecânica e *plansifters* de alta capacidade de peneiramento são investimentos que podem ser citados. Embora um *Capex* elevado represente um desembolso inicial significativo e exija um tempo de retorno do investimento estruturado, seu objetivo na engenharia de processos é promover a capacidade produtiva, estender a vida útil dos ativos fixos da organização, mitigar paradas não planejadas e consequentemente reduzir o *Opex* futuro da planta.

Por outro lado, o *Opex* reflete a eficiência operacional e a governança da rotina industrial (Gandra; Pinto Júnior, 2023). Na moagem do trigo, esse procedimento é fortemente impactado pela substituição de consumíveis críticos sujeitos a fadiga e ao atrito constante, tais como as telas, de náilon dos *plansifters*, as escovas de limpeza e os limpadores de telas.

O gerenciamento estratégico do *Opex* envolve a transição da manutenção puramente corretiva, que gera lucros cessantes devido a interrupções na linha de fluxo contínuo, para modelos de manutenção preventiva e preditiva (Bianchi, 2025). O investimento operacional no treinamento técnico de colaboradores e operadores do moinho, embora seja contabilizado como *Opex*, este atua diretamente na preservação do *Capex* uma vez que a calibração correta das abertura dos rolos e a distribuição homogênea da carga nas peneira evitam sobrecargas e prolongam a vida útil dos equipamentos fixos (Carvalho, 2025).

Assim, a engenharia econômica demonstra que *Capex* e *Opex* operam de maneira interdependente (Clavé; Estécahandy, 2023). Reduções arbitrárias no *Capex* durante as fases de projeto ou modernização frequente resultam no aumento severo do *Opex*, motivado por falhas mecânicas recorrentes, ineficiência energética e perdas de matéria-prima do processamento de extração (Sánchez *et al.*, 2026). Portanto, a viabilidade financeira na agroindústria requer a otimização integrada de ambas as variáveis, assegurando que os investimentos estruturais de longo prazo realizem de forma sustentável uma operação diária economicamente mais eficiente (Guerra, 2026).

METODOLOGIA

A presente pesquisa se configura como um estudo de caso aplicado, de caráter descritivo e de intervenção, utilizando múltiplas fontes de evidência para amparar uma proposta de intervenção e melhoria contínua de processos. O trabalho também adota uma natureza quanti-qualitativa. A abordagem quantitativa foca-se na coleta, aferição e tratamento de dados

granulométricos e de eficiência de extração, além do balanço econômico de perdas da planta. A perspectiva qualitativa se mostra na investigação de falhas operacionais e classificação de anomalias.

Objeto de estudo

O cenário de aplicação deste trabalho é uma unidade de moagem industrial de trigo, cuja atividade principal consiste no processamento de grãos para a produção de farinha destinada ao abastecimento do mercado alimentício e panificador. A intervenção concentra-se especificamente no diagrama de moagem da planta, onde o equilíbrio do fluxograma e a estabilidade operacional se correlacionam diretamente com o rendimento de extração.

Diagnóstico granulométrico prévio

Para a determinação do índice inicial de 28% de sub-peneiramento nas seções, foi utilizado como base o histórico de dados analíticos obtidos via técnica de enfarinhamento da unidade. Essa técnica consiste na coleta periódica de amostras dos fluxos de rejeito e passantes das seções do *plansifter*, seguida por análise laboratorial de peneiramento granulometria padrão para quantificar o arraste indesejado de farinha fina nos canais destinados ao farelo.

Ferramenta 5W2H

Como suporte metodológico para o desenvolvimento das ações corretivas após o diagnóstico das anomalias, foi utilizada a ferramenta 5W2H (Ishikawa, 1986). Este é um método de gestão que consiste em um *checklist* estruturado para o planejamento e execução de planos de ação. Sua aplicação visa mapear de forma inequívoca as diretrizes por meio de sete questionamentos fundamentais: o que será feito (*What*)?, por quê será feito (*Why*)?, onde (*Where*)?, quando (*When*)?, por quem (*Who*)?, como (*How*)? e quanto custará (*How much*)?. A adoção do 5W2H garante o rigor operacional necessário para mitigar as falhas identificadas na planta e assegurar a reprodutibilidade das melhorias propostas.

Avaliação de desempenho e indicadores produtivos

A validação quantitativa das melhorias implementadas foi realizada por meio da comparação do rendimento médio de extração de farinha da planta. Os dados do cenário inicial compreenderam o histórico operacional de 48 horas anteriores à aplicação do 5W2H, enquanto o cenário posterior foi avaliado monitorando-se a produção 48 horas após a estabilização do processo. O cálculo de ganho volumétrico foi baseado na diferença entre as pesagens

automatizadas de fluxo contínuo de farinha expedida e a de trigo moído (balanço de massa da planta).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir partem do diagnóstico técnico consolidado em etapa anterior da pesquisa, cujos achados fundamentais acerca do mapeamento de anomalias no processo de moagem industrial foram previamente publicados (Araújo *et al.*, 2025; Araújo *et al.*, 2023). Uma vez delimitado esse panorama situacional e identificadas as principais falhas operacionais que impactam o rendimento do sistema, o presente estudo direcionou o seu foco para a investigação detalhada de causa raiz. A partir do entendimento dessas origens e do estabelecimento de um plano de ação estruturado, são apresentadas as intervenções executadas na planta, culminando na avaliação comparativa dos indicadores de desempenho antes e após a realização das melhorias.

Análise de causa

Existem algumas anomalias de processo que são esperadas frente às características de funcionamento das máquinas, à estratégia do plano de manutenção e às condições de operação. No entanto, a fim de capturar as oportunidades de otimização e prevenção e eliminar falhas e perdas, cada anomalia que foi identificada foi estudada aplicando a ferramenta dos 5 Porquês, conforme é detalhado nos Quadros 1 ao 6.

Quadro 1: causa 1, sub-peneiramento no compartimento de DT1/2-2

	Por quê?	Motivo	O que fazer?
1	Sub-peneiramento no compartimento de DT1/2-2	Redução na área de peneiração de farinha	-
2	Redução na área de peneiração de farinha	Utilização de tela errada (fechada)	Substituir tela por padrão adequado
3	Utilização de tela errada (fechada)	Mão de obra em treinamento	Realizar capacitação com o funcionário em treinamento
4	Mão de obra em treinamento	-	-
5	-	-	-

Fonte: Própria (2023).

A partir dos resultados da análise de causa raiz para o compartimento de DT1/2-2 (Quadro 1), é possível perceber que o sub-peneiramento foi originado do uso de uma tela com abertura

menor (fechada), instalada por mão de obra em treinamento. Esse erro reduziu a área útil operacional da peneira e, do ponto de vista da dinâmica de separação de sólidos, a redução da área perfurada diminuiu a probabilidade de passagem das partículas de farinha fina na base do leito.

A criticidade dos planos de manutenção em moinhos exige um elevado nível de competência técnica dos operadores, dado que qualquer desvio na montagem de componentes altera os fluxogramas de separação, gerando sobrecargas silenciosas (Wichoski; Torres, 2022). Embora a correção imediata por meio da substituição da tela tenha restabelecido a eficiência projetada para a seção, o episódio evidencia que as manutenções industriais exigem conhecimentos específicos que são adquiridos estritamente através de capacitação e tempo de experiência. Portanto, avaliando os motivos que vieram a comprometer a eficiência de peneiramento do compartimento de DT1/2-2 (Quadro 1), fica evidente a necessidade de implementar um acompanhamento periódico e de utilizar recursos intuitivos, como a gestão à vista, para garantir a realização correta de atividades de grande impacto no processo e salvaguardar a integridade das operações descritas nos demais quadros.

No compartimento de R1/2G-1 (Quadro 2), a causa determinante do sub-peneiramento foi a identificação de expulsadores em estágio avançado de deterioração, o que levou ao acúmulo e à incrustação de farinha nas seções das telas. Mecanicamente, os expulsadores realizam a limpeza contínua e a desobstrução dos vãos da malha por meio do impacto do movimento oscilatório. Sem essa ação, ocorre o fenômeno de encrustamento, anulando a área útil de triagem.

Quadro 2: causa 2, sub-peneiramento no compartimento de R1/2G-1

	Por quê?	Motivo	O que fazer?
1	Sub-peneiramento no compartimento de R1/2G-1	Redução na área de peneiração de farinha	-
2	Redução na área de peneiração de farinha	Seções das telas de peneiramento cheias de farinha	-
3	Seções das telas de peneiramento cheias de farinha	Utilização de expulsadores desgastados	Substituir expulsadores
4	Utilização de expulsadores desgastados	Falta de padrão visual	Disponibilizar <i>in loco</i> padrão visual para expulsadores de farinha
5	Falta de padrão visual	-	-

Fonte: própria (2023).

Esse achado converge com as premissas de Freitas *et al.* (2021) sobre a gestão da qualidade em processos contínuos, onde a ausência de padrões visuais *in loco* induz à reutilização

inadvertida de insumos desgastados, comprometendo os índices de conformidade do produto final. Diante disso, e partindo do princípio de que a melhoria é um ciclo constante, evidencia-se a oportunidade de evoluir as instruções operacionais já existentes mediante a inclusão de padrões visuais específicos para os expulsadores no plano de ação, mitigando o risco de novas falhas operacionais.

A investigação detalhada no compartimento de C1/2-2 e C2B (Quadro 3) evidenciou que o sub-peneiramento verificado não decorria de uma falha isolada nessa seção, mas sim do efeito cascata provocado por anomalias não corrigidas nos compartimentos anteriores. Conforme comentado por Alfin (2019), os diagramas de moagem industrial são projetados para absorver o fluxo nominal de funcionamento com distribuição de produtos intermediários de acordo com o tipo de trigo estabelecido, operando em regime de equilíbrio estrito de massa e volume operacional.

Dessa forma, desvios ou anomalias nas seções prévias alteram essa dinâmica e transferem partículas finas adicionais para as etapas posteriores, superando a capacidade nominal de recepção do maquinário. Esse fluxo gera um aumento anômalo na alimentação e torna insuficiente a área de peneiração disponível, resultando em sobrecargas nos compartimentos do *plansifter* e em ineficiências em cadeia.

Quadro 3: causa 7, sub-peneiramento no compartimento de C1/2-2 e C2B

	Por quê?	Motivo	O que fazer?
1	Sub-peneiramento no compartimento de C1/2-2	Aumento do fluxo de farinha na alimentação deste compartimento	-
2	Aumento do fluxo de farinha na alimentação deste compartimento	Compartimentos anteriores com anomalias comprometendo peneiração	Conforme descritos nas análises anteriores
3	Compartimentos anteriores com anomalias comprometendo peneiração	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-

Fonte: própria (2023).

Cabe ressaltar que as Causas 3, 4, 5 e 6 reportam desvios operacionais específicos ocorridos em outros compartimentos do sistema de redução e compressão (notadamente R1/2G-2, R1B, R3-2, C5, C6 e C1/2-1). Visto que a caracterização detalhada dessas anomalias intermediárias já foi publicada (Araújo, 2025), optou-se por omitir o detalhamento individualizado de tais causas repetitivas no presente manuscrito. Essa escolha justifica a transição direta na

numeração entre o Quadro 2 e o Quadro 3. Desta forma, avança-se pontualmente para a Causa 7, cuja referência original foi mantida a fim de evidenciar que o aumento no fluxo da alimentação de C1/2-2 se configura como um desdobramento das perturbações precedentes, caracterizando um efeito em cadeia (ou em cascata) ao longo do processo.

O mapeamento do compartimento de C3 (Quadro 4) apontou para o desgaste físico natural e a abrasão na malha da tela, uma vez que o trigo e seus subprodutos intermediários (especialmente frações de sêmolos e cascas) exercem um elevado atrito mecânico sobre os tecidos de *nylon*. Diante dessa característica altamente abrasiva do processo, o atingimento da vida útil das telas das peneiras de *plansifter* é esperado, tornando indispensável a substituição dos componentes dentro do período estabelecido pelo fabricante.

Quadro 4: causa 8, sub-peneiramento no compartimento de C3

	Por quê?	Motivo	O que fazer?
1	Sub-peneiramento no compartimento de C3	Redução na área de peneiração de farinha	-
2	Redução na área de peneiração de farinha	Telas de farinha incrustadas	Conforme descritos nas análises anteriores
3	Telas de farinha incrustadas	Desgaste na malha da tela	Substituir a tela danificada desgastada
4	Desgaste na malha da tela	Falta de cronograma de telas por tempo de vida de útil	Estabelecer cronograma de troca de tela conforme orientação do fabricante
5	-	-	-

Fonte: própria (2023).

Os resultados reforçam a necessidade estratégica defendida por Wichoski e Torres (2022) de transitar de uma postura de manutenção puramente reativa para cronogramas preventivos baseados no tempo, uma prática de controle de *Opex* que assegura a integridade geométrica das malhas e preserva o rendimento produtivo global. Para o compartimento de C4 (Quadro 5), a causa raiz identificada extrapolou os limites mecânicos da planta, revelando uma falha no processo de suprimentos e na gestão de estoque.

Embora caracterize-se como um cenário pontual, a anomalia descrita decorre da dependência de um único fornecedor homologado para itens dessa categoria. Diante do atraso na entrega, a operação foi obrigada a utilizar telas com aberturas inadequadas para evitar paradas na fábrica.

Quadro 5: causa 9, sub-peneiramento no compartimento de C4

	Por quê?	Motivo	O que fazer?
1	Sub-peneiramento no compartimento de C4	Redução na área de peneiração de farinha	-
2	Redução na área de peneiração de farinha	Telas de farinha com abertura menor que o projetado	Realizar substituição da tela por padrão adequado
3	Telas de farinha com abertura menor que o projetado	Falta da tela de projeto em estoque	Incluir fornecedor reserva para situações de emergência
4	Falta da tela de projeto em estoque	Fornecedor atrasou o prazo	-
5	-	-	-

Fonte: própria (2023).

De acordo com a modelagem de gestão de perdas agroindustriais proposta por Oliveira *et al.* (2024), gargalos de suprimento de peças de reposição geram custos ocultos expressivos à medida que forçam a planta a operar sob regimes sub ótimos de eficiência de extração, resultando em perdas permanentes no fluxo de massa. Como medida preventiva para evitar a reincidência desse tipo de anomalia, o cadastramento e a homologação de novos fornecedores alternativos apresentam-se como soluções estratégicas necessárias.

Plano de ação

Após a investigação das causas que ocasionaram o sub-peneiramento nos compartimentos do *plansifter*, as ações de correção e prevenção foram estabelecidas utilizando a ferramenta *5W2H* (Quadro 6). Os cenários avaliados apresentaram lacunas relativas à capacitação de pessoas, organização de materiais, falta de padrões visuais e gestão de estoque de itens críticos. A consolidação deste plano de ação estruturado permitiu canalizar os diagnósticos gerados pelos 5 Porquês em metas operacionais tangíveis, com responsabilidades definidas para cada oportunidade.

Um diferencial estratégico evidenciado no planejamento foi a destinação exclusiva de recursos disponíveis dentro do orçamento anual da unidade fabril, atrelados às despesas operacionais ordinárias (*Opex*), eliminando qualquer necessidade de paradas estruturais prolongadas ou aquisição de novos ativos imobilizados de capital (*Capex*). Como apontado por Caraski (2022), a eficiência gerencial na agroindústria moderna reside justamente na capacidade de maximizar os ativos fixos existentes através de melhorias de processo focadas no *Opex*, garantindo o retorno econômico imediato com baixo risco financeiro.

Quadro 6: plano de ação 5W2H no moinho de trigo estudado (continua)

<i>What?</i> (O que será feito?)	<i>Why?</i> (Por quê será feito?)	<i>Where?</i> (Onde?)	<i>Who?</i> (Por quem?)	<i>When?</i> (Quando?)	<i>How?</i> (Como?)	<i>How much?</i> (Quanto custará?)	<i>Status</i>
Substituição da tela por padrão adequado	Utilização de tela errada (fechada)	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Operador de moagem	5/6	Substituir tela errada por tela adequada	<i>Opex</i>	Feito
Realização treinamento com o funcionário em treinamento	Utilização de tela errada (fechada); telas de farinha da primeira entrada de produto montada na direção errada	Setor da moagem	Especialista de moagem	9/6	Realizar leitura da instrução operacional com o operador e simular montagem de compartimento <i>in loco</i> destacando os pontos de atenção	Sem custo	
Substituição dos expulsadores	Utilização de expulsadores desgastados	Setor da moagem	Operador de moagem	5/6	Substituir o expulsador desgastado por um novo	<i>Opex</i>	
Disponibilização <i>in loco</i> padrão visual para expulsadores de farinha	Utilização de expulsadores desgastados	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Analista de melhoria contínua	9/6	Solicitar confecção de padrão para gráfica, fixar na área e comunicar a todo o time da moagem	<i>Opex</i>	
Substituição dos expulsadores por modelo adequado	Utilização de expulsadores errados (sem cerdas)	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Operador de moagem	5/6	Substituir expulsadores por modelo adequado	<i>Opex</i>	
Disponibilização de padrão visual <i>in loco</i> dos tipos de expulsadores e suas aplicações	Utilização de expulsadores errados (sem cerdas)	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Analista de melhoria contínua	9/6	Solicitar confecção de padrão para gráfica, fixar na área e comunicar a todo o time da moagem	<i>Opex</i>	
Implementação de 5S no estoque de utensílios de processo	Falha na segregação dos componentes por aplicação	5º andar do setor da moagem	Analista de melhoria contínua	9/6	Solicitar confecção de padrão para gráfica, fixar na área e comunicar a todo o time da moagem	<i>Opex</i>	
Realização de ajuste na posição do quadro para direção adequada	Telas de farinha da primeira entrada de produto montada na direção errada	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Operador de moagem	5/6	Realizar ajuste na posição do quadro para direção adequada	<i>Opex</i>	

Fonte: própria (2023).

Quadro 6: plano de ação 5W2H no moinho de trigo estudado (fim)

<i>What?</i> (O que será feito?)	<i>Why?</i> (Por quê será feito?)	<i>Where?</i> (Onde?)	<i>Who?</i> (Por quem?)	<i>When?</i> (Quando?)	<i>How?</i> (Como?)	<i>How much?</i> (Quanto custará?)	<i>Status</i>
Inclusão de expulsadores nas seções que estão em este componente	Falta de expulsador	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Operador de moagem	5/6	Incluir expulsadores nas seções que estão sem este componente	<i>Opex</i>	Feito
Criação de <i>checklist</i> de verificação dos componentes de cada item do compartimento	Erro na montagem do quadro	Setor da moagem	Analista de processos	9/6	Criar <i>checklist</i> , comprar suporte para disponibilização em campo e comunicar a todo time da moagem	<i>Opex</i>	
Montagem de cunha na posição adequada	Montagem de cunha fora de posição	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Operador de moagem	5/6	Montar cunha na posição adequada	<i>Opex</i>	
Instalação de padrão visual nos compartimentos de <i>plansifter</i>	Montagem de cunha fora de posição	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Supervisor de mecânica	30/6	Pintar a posição correta das cunhas dentro dos compartimentos de <i>plansifter</i> , criando instrução visual	<i>Opex</i>	
Substituição da tela danificada desgastada	Desgaste na malha da tela	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Operador de moagem	5/6	Substituir a tela danificada desgastada	<i>Opex</i>	
Estabelecimento de cronograma de troca de tela conforme orientação do fabricante	Desgaste na malha da tela	Setor da moagem	Analista de processos	9/6	Criar cronograma para troca de telas de compartimentos de <i>plansifter</i>	Sem custo	
Realização de substituição da tela por padrão adequado	Telas de farinha com abertura menor que o projetado	<i>Plansifter</i> do setor da moagem	Operador de moagem	5/6	Realizar substituição da tela por padrão adequado	<i>Opex</i>	
Inclusão de fornecedor reserva para emergências	Falta da tela de projeto em estoque	Almoxarifado	Analista de controladoria	30/6	Realizar cadastramento de novo fornecedor no sistema da empresa	Sem custo	

Fonte: própria (2023).

Análise da extração após intervenções para resolução

Por fim, a comparação dos indicadores operacionais da planta antes e após a implementação das ações descritas no *5W2H* revelou um incremento médio de 0,5% na taxa de extração global de farinha, o que representa uma injeção volumétrica de 100 toneladas adicionais por mês no balanço de massa da empresa. Na escala moageira industrial, um ganho de 0,5% é altamente expressivo, pois traduz a recuperação de endosperma nobre que antes era descartado erroneamente junto às frações de farelo.

Figura 1: Perfil de extração depois da intervenção para correção



Fonte: Araújo *et al.* (2023).

Esses achados alinham-se diretamente ao estudo de Broca, Bertan e Francisco (2021), que avaliaram a qualidade de farinhas industriais destinadas à panificação. As autoras destacam que o ganho de eficiência interna nos moinhos, o direcionamento correto das frações granulométricas e a assertividade no envio dos lotes produzidos são fatores que protegem a lucratividade e garantem a estabilidade no atendimento aos clientes finais. Dessa forma, o aumento na capacidade de extração observado não apenas otimiza o balanço de massa da planta industrial, mas amplia diretamente a capacidade de fornecimento contínuo de matéria-prima qualificada para o setor panificador local, sem comprometer os padrões de identidade e qualidade exigidos pelo mercado.

CONCLUSÕES

No estudo realizado anteriormente, foram evidenciados resultados de extração abaixo da meta projetada para o moinho em análise devido a anomalias nos compartimentos de *plansifter*. Dentre todas as passagens analisadas, verificou-se o arraste de farinha em 28% delas devido a lacunas na capacitação de pessoas, na organização de materiais, na falta de padrões visuais e na

gestão de estoque de itens críticos ao processo.

Após a investigação de causa raiz por meio dos 5 Porquês, a estruturação e a execução das ações de correção e prevenção foram viabilizadas pela aplicação do método *5W2H*. Esse direcionamento metodológico assegurou a padronização dos novos procedimentos operacionais e resultou em um ganho médio de 0,5% de extração de farinha.

Esse ganho obtido após as correções no *plansifter* equivale a aproximadamente 100 toneladas adicionais de farinha por mês, representando um crescimento volumétrico substancial para o abastecimento do mercado local. O aspecto mais relevante desse resultado é que o incremento produtivo foi alcançado estritamente por meio de otimizações de processos e manutenção corretiva (*Opex*), eliminando a necessidade de investimentos em novos ativos de capital (*Capex*).

Como evidenciado, o processo de melhoria é um ciclo contínuo no fluxograma industrial. Visando a continuidade de pesquisas focadas no desempenho da moagem, sugere-se para trabalhos futuros a avaliação quantitativa dos impactos físico-químicos na qualidade da farinha decorrentes do sub-peneiramento. Além disso, recomenda-se o mapeamento do tempo de resposta organizacional entre a identificação de um desvio granulométrico e a estabilização do processo, consolidando o uso da engenharia de solução de problemas na indústria de moagem industrial.

REFERÊNCIAS

ACQUAH, I. S. K.; QUACOE, J.; ARHIN, M. How to invest in total quality management practices for enhanced operational performance: findings from PLS-SEM and fsQCA. **The TQM Journal**, v. 35(7), 1754-274, 2022. DOI: 10.1108/tqm-05-2022-0161.

AKANMU, M. D.; HASSAN, M. G.; MOHAMAD, B.; NORDIN, N. Sustainability through TQM practices in the food and beverages industry. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 40(2), 2021. DOI: 10.1108/ijqrm-05-2021-0143.

ALFIN, F. Mill flow diagram, mill adjustment and mill balance. 2019. Disponível em: <https://millermagazine.com/blog/mill-flow-diagram-mill-adjustment-and-mill-balance-3190>. Acesso em: 27 jun. 2026.

ARAÚJO, A. V. R. ; GOMES, F. P. C. ; SANTOS, O. F. L. ; VALONES, G. . Otimização da moagem do trigo: uma análise do uso da técnica de enfarinhamento. In: **Semana da Engenharia de Alimentos** (V SeAli), 2025, Patos de Minas. Saúde na prateleira: ciência por trás dos alimentos, 2025. p. 328-335. Disponível em: <https://sites.google.com/view/v-seali/anais?authuser=0>. Acesso em: 04 jul. 2026.

ARAÚJO, A. V. R. de. Análise da eficiência de compartimentos de peneira plana (*plansifters*) em um moinho de farinha de trigo. 2023. 50 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/56617>. Acesso em: 12 mai. 2026.

BIANCHI, J. de C. Viabilidade técnico-econômica da produção de farinha proteica de *Pleurotus ostreatus* e sua potencial aplicação em produtos alimentícios. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 83 p., 2025. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/fa3a2e54-af54-438c-8369-4400d2ebe620/content>>. Acesso em: 30 jul. 2026.

BROCA, A.; BERTAN, L. C.; FRANCISCO, C. T. dos P. Study of the quality of wheat and flour destined for baking in a mill in the south of Brazil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e20710414021, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/14021>. Acesso em: 27 jun. 2026.

CAMPOS, V. F. TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). Nova Lima: INDG TecS, 2021 (edição atualizada).

CARASKI, T. H. Unificação de agroindústrias do setor sucroenergético: um estudo do valor da empresa. 2022. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Administração, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/04c268b3-b35e-4f66-a0f6-0e76f10a4bee/content>. Acesso em 03 jul. 2026.

CARVALHO, R. A. de. Análise técnico-econômica comparativa entre moinhos autógenos e moinhos convencionais no processamento mineral: estudo baseado em aplicações no Brasil. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Química (FEQUI). 2025. Disponível em: <<http://orcid.org/0009-0007-5758-3533>>. Acesso em: 30 jul. 2026.

CIOFFI, L. G.; OKADA, R. H. Implementação da ferramenta 5W2H no processo de produção para a obtenção de resultados e melhorias no processo. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19(2), p. 974–984, 2022. DOI: 10.31510/inf.v19i2.1505.

CLAVÉ, N., ESTÉCAHANDY, M. Optimizing the balance between production availability, capex and opex of projects while managing environmental aspects with a simulation tool. **Paper presented at the ADIPEC**, Abu Dhabi, UAE, October 2023. DOI: 10.2118/216865-MS

CONSTANTIN, G.A.; VOICU, G.; STEFAN, E. M.; MUNTEANU, M. G.; MUSUROI, G.; VOICEA, I. Dimensional characteristics of grist intermediate products obtained in the first two technological passages in the reduction phase of an industrial milling plant. **E3S Web Conferences**, v. 286, 04006, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202128604006.

FREITAS, A. F. de; OLIVEIRA, D. B., ANTONIO, R. A.; ANJOS, A. P. dos. Diagnóstico da inspeção e gestão da qualidade no processo produtivo de uma indústria agroquímica. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 06, Ed. 05, Vol. 01, pp. 89-106. Maio de 2021. ISSN: 2448-0959, Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-de-producao/processo-produtivo>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-de-producao/processo-produtivo. Acesso em: 19 jun. 2026.

GALLEGOS, R. A. P. Ferramentas de gestão voltadas para melhoria da qualidade nas empresas. 2023. 1. ed. Rio de Janeiro: Freitas Barros. Disponível em: <<https://plataforma>.

bvvirtual.com.br/Account/Login?redirectUrl=%2FLeitor%2FPublicacao%2F209591%2Fepub%2F0%3F%3Fcode%3D36W24DoGA6zrLlqhaELYVmetAFkWuSQLiKrtmWYO8R2JbAg4HHeDDn dyta4mvOMbU2ghO%2ByUK7UhEHT3ntYVfg%3D%3D>. Acesso em 30 jul. 2026.

GANDRA, R. M.; PINTO JÚNIOR, H. Q. Modelo aplicado aos processos de tomada de decisões de investimento no segmento de exploração e produção da indústria de óleo e gás em ambiente de riscos e incertezas. **Economia e Sociedade**, v. 32(1), p. 103–134, 2023. DOI: 10.1590/1982-3533.2023v32n1art05.

GUERRA, J. I. M. Avaliação comparativa do desempenho econômico de métodos de irrigação da cana-de-açúcar para a produção de bioetanol: estudo em empresas do setor sucroenergético do Brasil e da Colômbia. 2026. **Relatório de pós-doutorado** (Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2026.

HASSAN, A. S.; JAARON, A. A. M. Total quality management for enhancing organizational performance: The mediating role of green manufacturing practices, **Journal of Cleaner Production**, v.308(7), 127366, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127366.

INÁCIO, L. C. DOS R., AVELINO, S. F., SANJULIÃO, L.-R. K. A., REIS, M. J., BORGES, V. DE O., PIANTINO, L. F. M., PINTO, R. A. N., & DA SILVA, H. M. Ferramentas básicas da qualidade: folha de verificação, estratificação, fluxograma, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W2H. **Management and Administrative Professional Review**, 14(10), p. 17413–17427, 2023. DOI: 10.7769/gesec.v14i10.2890

ISHIKAWA, K. Guide to Quality Control. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1986.

JIANLI W.; TINGJING Z.; ERQI G.; YINGQUAN Z.; XIAOJIAN W. Physicochemical properties of wheat granular flour and quality characteristics of the corresponding fresh noodles as affected by particle size. **Food Science and Tecnology**, v. 204, 116439, 2024. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.116439.

KALITSIS, J.; MINASNY, B.; QUAIL, K.; McBRATNEY, A. Application of response surface methodology for optimization of wheat flour milling process. **Cereal Chemistry**, v. 98(6), p. 1215–1226, 2021. DOI: 10.1002/cche.10474.

KLEIN, H. S.; VIDAL LUNA, Francisco. The Complex Evolution of Wheat Production in Brazil. **Historia Agraria: Revista de agricultura e história rural**, [S. l.], n. 93, p. 191-224, 2024. DOI: 10.26882/histagar.093e06k.

KONKUBAEVA, N.; RADENKOV, V.; TOMSONE, L.; KEKE, A.; KULMYRZAEV, A.; GALOBURDA, R. Comparison of physicochemical properties, volatile profiles, and 5-hydroxymethylfurfural and acrylamide content in whole and explosion-puffed wheat grain. **Applied Sciences**, v. 15(2), 559, 2025. DOI: 10.3390/app15020559.

LEMOS, M. F. S. Implementation of a Chemical, Biological and Sensory Control Plan in the Beer Production Process. **Dissertação de Mestrado**. Universidade do Minho (Portugal), 2022. Disponível em: <<https://www.proquest.com/openview/78344abca38e91447d9730b0a970b691/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>>. Acesso em: 30 jul. 2026.

MENDES, G. da S.; SANTOS, J. P. dos; SILVA, M. D. Aplicação de ferramentas de qualidade e

do indicador OEE para melhoria da produtividade em uma linha de envase. **Revista Gestão industrial**, v. 18(4), p. 102-123, 2022. DOI: 10.3895/gi.v18n4.15541.

OLIVEIRA, M. F. de; POLTRONIERI, C. F.; VILARINHO, M. C.; ALMEIDA, T. dos S. Gestão de perdas em uma indústria alimentícia. **Exacta**, v. 23(2), p. 432–455, 2024. DOI: 10.5585/2024.24029.

PAULA, A. DOS S.; GAMBI, L. DO N. Aplicação de ferramentas da qualidade: estudo de caso em um laticínio. **Revista FSA**, v 20, 2317-2983, 2023. DOI: 10.12819/2023.20.1.16

RENZO, T.; CASCONI, G.; CRESCENTE, G.; REALE, A.; MENGA, V.; D'APOLITO, M.; NAZZARO, S.; VOLPE, M. G.; MOCCIA, S. Ancient grain flours with different degrees of sifting: advances in knowledge of nutritional, technological, and microbiological aspects. **Foods**, v. 12(22), 4096, 2023. DOI: 10.3390/foods12224096.

SÁNCHEZ, L. F.; BOZZINI, M. M.; VALLERIO, M.; MANENTI, F. A hybrid surrogate and simulation-based framework for efficient CapEx/OpEx optimization in complex chemical plants. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v.219, 110638, 2026. DOI: 10.1016/j.cep.2025.110638.

SANTANA, A. S. de; SOUZA, J. A. de; PORTO, W. S; RAMOS, E. G. Gestão *Capex*: estudo de caso sobre investimentos em imobilizados em uma empresa de pequeno porte do cone Sul de Rondônia. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, Boa Vista, v. 13(39), p. 387–401, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.7764366.

SANTOS, K. V. da S. **Utilização de tecnologias da indústria 4.0 para manutenção**. Recife: Repositório UFPE, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/55221?locale=es>. Acesso em: 03 jul. 2026.

SILVA, C. R. R.; SOUZA JUNIOR, W. R. de. Estudo da utilização das ferramentas da qualidade para análise de causa raiz da baixa performance de atendimento em uma empresa de telecomunicações. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 8(2), p. 145-162, 2022. DOI:10.47456/bjpe.v8i2.37228.

TIAN, X.; XIAOXI W.; ZHEN W.; BINGHUA S.; FENGCHENG W.; SEN M.; YUJUAN G.; XIAOJIE Q. Particle size distribution control during wheat milling: nutritional quality and functional basis of flour products - a comprehensive review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57 (12), p. 7556–7572, 2022. DOI: 10.1111/ijfs.16120.

WICHOSKI, J. E.; TORRES, D. G. B. Proposta de um plano de manutenção para equipamentos críticos de um moinho de trigo. **Revista Científica Multidisciplinar (RECIMA21)**, [S. l.], v. 3(12), p. e3122377, 2022. DOI: 10.47820/recima21.v3i1.2377.

XIAO, L. T.; ZHEN W.; XIAOXI W.; SEN M.; BINGHUA S.; FENGCHENG W. Mechanochemical effects on the structural properties of wheat starch during vibration ball milling of wheat endosperm. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 206, p. 306-312, 2022. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.02.160.