



MELHORIA CONTÍNUA NO BENEFICIAMENTO DE ALGODÃO: UM ESTUDO DE CASO

Continuous improvement in cotton processing: a case study

Mejora continua en el procesamiento del algodón: un estudio de caso

Keren Karolyne Nóbrega Silva ^{1*}, Rian Moura Café Amorim ², & Yuri Laio Teixeira Veras Silva ²

¹ Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, Paraíba, Brasil

^{2,3} Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Sumé, Paraíba, Brasil

¹ kerenobreg@gmail.com ² rianmoura81@gmail.com ³ yurilaio@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido: 26.07.2025

Aprovado: 29.10.2025

Disponibilizado: 12.11.2025

PALAVRAS-CHAVE: Agronegócio, Gestão da Qualidade, Controle Estatístico da Qualidade, Algodão.

KEYWORDS: Agribusiness, Quality Management, Statistical Quality Control, Cotton.

PALABRAS CLAVE: Agronegocios, Gestión de Calidad, Control Estadístico de Calidad, Algodón.

*Autor Correspondente: Silva, K. K. N.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar o processo produtivo de uma empresa de beneficiamento de algodão, aplicando ferramentas da qualidade e métodos estatísticos como base para a melhoria contínua dos processos. A pesquisa caracteriza-se como aplicada e experimental, com abordagem quantitativa, conduzida em ambiente industrial real. Foram avaliadas variáveis críticas do processo, como temperatura, umidade do algodão em diferentes estágios, carga de alimentação e rotações de equipamentos, comparando cenários com parâmetros incorretos e corretos. Os dados foram submetidos à análise estatística e à verificação instrumental em laboratório, possibilitando identificar as principais causas de variação no desempenho operacional. Os resultados evidenciaram elevada variabilidade no peso dos fardos, com 77,6% de não conformidade em relação aos limites especificados, sendo 41% abaixo e 36,6% acima do peso padrão. As causas principais identificadas relacionam-se a falhas operacionais, variações ambientais e ausência de padronização entre turnos. A aplicação das ferramentas da qualidade permitiu identificar e priorizar as causas de maior impacto, direcionando ações corretivas voltadas à padronização da umidificação e prensagem, à melhoria da comunicação entre operadores e à manutenção preventiva dos equipamentos. O estudo evidencia a relevância científica da integração entre gestão da qualidade e estatística industrial como instrumentos de suporte à tomada de decisão e ao aprimoramento contínuo de processos no agronegócio.

ABSTRACT

This study aims to analyze the production process of a cotton processing company, applying quality tools and statistical methods as a basis for continuous process improvement. The research is characterized as applied and experimental, with a quantitative approach, conducted in a real industrial environment. Critical process variables were evaluated, such as temperature, cotton humidity at different stages, feed rate, and equipment rotations, comparing scenarios with incorrect and correct parameters. The data were subjected to statistical analysis and instrumental verification in the laboratory, making it possible to identify the main causes of variation in operational performance. The results showed high variability in bale weight, with 77.6% non-conformity in relation to the specified limits, with 41% below and 36.6% above the standard weight. The main causes identified are related to operational failures, environmental variations, and lack of standardization between shifts. The application of quality tools allowed the identification and prioritization of the causes with the greatest impact, directing corrective actions aimed at standardizing humidification and pressing, improving communication between operators, and preventive maintenance of equipment. The study highlights the scientific relevance of integrating quality management and industrial statistics as support instruments for decision-making and continuous process improvement in agribusiness.

RESUMEN

Este artículo presenta un estudio de caso cuyo objetivo es identificar y proponer mejoras en el proceso de procesamiento del algodón en una agroindustria, centrándose en la producción de sacos de fibra de algodón durante la cosecha 2021/2022. La investigación se llevó a cabo durante seis meses, periodo en el que se recopilaron y analizaron datos utilizando herramientas de calidad y software específico. Los resultados revelaron un alto nivel de no conformidad en las piezas producidas: de las 77.758 piezas sólidas, el 41% presentaba un peso inferior al indicado, el 36,6% un peso superior al especificado y solo el 22,4% cumplía con los estándares establecidos. Además, se detectó una falta de estandarización entre turnos y meses, lo que comprometió la eficiencia del proceso y generó pérdidas económicas. Ante este panorama, el estudio refuerza la importancia de la mejora continua mediante la gestión de la calidad y el control estatal en el sector agroindustrial.



INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha, historicamente, um papel fundamental na formação e sustentação da economia brasileira. Nas últimas décadas, o agronegócio consolidou-se como um dos principais pilares do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, representando, em 2021, cerca de 27,5% da economia do país. Contudo, esse percentual apresentou leve recuo, alcançando 25,5% em 2022, influenciado por fatores como o aumento dos custos de insumos, variações cambiais e instabilidades climáticas que impactaram diretamente a produtividade agropecuária e agroindustrial (CNA & CEPEA, 2022). Ainda assim, o setor mantém posição estratégica na balança comercial brasileira, com exportações que atingiram US\$ 13,97 bilhões apenas em setembro de 2022, reafirmando seu potencial de expansão e competitividade global (CNA, 2022).

Nesse contexto, a agroindústria assume papel determinante na agregação de valor aos produtos agrícolas, promovendo o desenvolvimento rural e fortalecendo a integração entre agricultura, indústria e mercado consumidor (Engel & Fernandes, 2015). Segundo a Embrapa, as atividades de beneficiamento e transformação de matérias-primas agropecuárias já correspondem a aproximadamente 5,9% do PIB brasileiro, o que demonstra a importância econômica e social dessas operações para o país. No caso específico do algodão, sua cadeia produtiva extrapola o uso têxtil tradicional, abrangendo desde aplicações na alimentação animal até iniciativas sustentáveis de reaproveitamento de resíduos agrícolas (Zhang, 2023).

Diante das exigências do mercado globalizado, torna-se imprescindível que as agroindústrias adotem sistemas de gestão voltados à qualidade e à padronização dos processos produtivos. A qualidade no agronegócio deve ser compreendida de forma sistêmica, englobando desde a produção primária até o consumo final (Costa et al., 2017). Busto e Pigatto (2024) destacam que a rastreabilidade e o controle de qualidade são elementos essenciais para fortalecer a confiança do consumidor e agregar valor à cadeia produtiva do algodão.

A adoção de ferramentas da qualidade e métodos estatísticos é considerada indispensável para a tomada de decisão baseada em dados concretos, possibilitando a redução de variabilidades e o controle de riscos nas operações agroindustriais (Nguyen, Phan & Matsui, 2020). O Controle Estatístico do Processo (CEP) e o ciclo PDCA se destacam como instrumentos eficazes para o monitoramento e a melhoria contínua, permitindo a identificação de desvios, a prevenção de falhas e a busca pela estabilidade operacional. Ferramentas clássicas de qualidade, como histogramas, diagramas de Pareto, de Ishikawa e fluxogramas, constituem recursos essenciais para a análise de causas de não conformidades e proposição de ações corretivas (Stort & Lisboa, 2022). A aplicação sistemática dessas ferramentas contribui para a otimização dos processos, o aumento da produtividade e a redução de custos operacionais, promovendo resultados sustentáveis no longo prazo.

O presente estudo tem como objetivo analisar o processo produtivo de uma empresa de beneficiamento de algodão, aplicando ferramentas da qualidade e métodos estatísticos como base para a melhoria contínua dos processos. Essa abordagem possibilita identificar falhas, compreender suas causas e propor soluções fundamentadas em evidências quantitativas, o que reforça o caráter científico e aplicado da pesquisa.

A relevância científica deste trabalho reside na integração entre os conceitos de gestão da qualidade e as práticas operacionais do beneficiamento de algodão, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre eficiência produtiva na agroindústria. Além disso, ao empregar um estudo de caso com abordagem quantitativa, fundamentado na coleta e análise de dados reais de produção, esta pesquisa oferece subsídios metodológicos para futuras investigações e aplicações em contextos industriais semelhantes.

MÉTODO DE PESQUISA

Este estudo caracteriza-se como um estudo de caso aplicado em uma empresa do setor do agronegócio, cuja Unidade de Beneficiamento de Algodão (UBA) está localizada na cidade de Correntina, no estado da Bahia. Fundada em 1977, a empresa atua na produção de soja, milho e algodão, além de operar com a produção e comercialização de sementes de soja e algodão. A UBA constitui o foco principal desta pesquisa, sendo o local onde foram conduzidas as coletas de dados e observações que fundamentam as análises e proposições realizadas. As etapas metodológicas compreendem as seguintes fases:

- Identificação do problema: a definição do problema foi realizada a partir de visitas *in loco*, possibilitando a compreensão do processo produtivo e a identificação da necessidade de padronização do peso dos fardos de pluma de algodão;
- Coleta de dados: os dados foram obtidos por meio de observações diretas durante as visitas técnicas, diálogos informais com colaboradores, registros fotográficos e gravações em vídeo, bem como pela extração de informações do sistema informatizado GATEC PRD, utilizado pela empresa para o gerenciamento da produção. Essa abordagem mista favoreceu a obtenção de dados qualitativos e quantitativos, permitindo compreender de forma ampla os gargalos operacionais relacionados à não conformidade no peso dos fardos;
- Análise de dados: os dados foram tratados e analisados com o auxílio dos softwares Microsoft Excel e Minitab. As ferramentas da qualidade aplicadas incluíram histogramas, gráfico de Pareto, boxplot, carta multivariada, diagrama de Ishikawa e fluxograma de processo. Essas análises possibilitaram a estratificação dos dados e a identificação das principais causas dos desvios no processo.

A coleta de dados ocorreu ao longo de seis meses. O peso dos fardos de algodão foi extraído diretamente do sistema GATEC PRD, sendo exportado para planilhas no Excel, onde também foi realizada a organização e o tratamento inicial dos dados.

Durante o acompanhamento do processo produtivo, as visitas *in loco* permitiram interações espontâneas com os colaboradores, o que possibilitou um mapeamento mais preciso das falhas operacionais e das possíveis causas da variabilidade no peso dos fardos. Os registros audiovisuais complementaram a análise, favorecendo a visualização detalhada de cada etapa do processo.

Com base nesses dados, foi possível identificar os pesos de 77.758 fardos de pluma de algodão beneficiados, entre os dias 27 de junho e 12 de novembro de 2022. Tais informações constituíram a principal base de análise do estudo, alimentando os modelos estatísticos aplicados nos softwares Excel e Minitab (Figura 1).

Figura 1. Controle referente à produção da safra 2021/2022

N.º Fardinho Completo	Dt.Hr.Pesagem	Qtde. Fardinho	Peso Atual(Kg)	Qtde. Sem HVI	Peso Inicial(Kg)	Peso Fazenda(Kg)	Peso Embarque(Kg)	Peso Tara(Kg)	Peso Bruto(Kg)
0007898536761000001	02/07/2022 11:07	1	224,00	0	224,00	223,00	224,00	1,00	225,00
0007898536761000001 Total		1	224,00	0	224,00	223,00	224,00	1,00	225,00
0007898536761000002	02/07/2022 11:15	1	220,00	0	221,00	220,00	220,00	1,00	221,00
0007898536761000002 Total		1	220,00	0	221,00	220,00	220,00	1,00	221,00
0007898536761000003	02/07/2022 11:17	1	213,00	0	214,00	213,00	213,00	1,00	214,00
0007898536761000003 Total		1	213,00	0	214,00	213,00	213,00	1,00	214,00
0007898536761000004	02/07/2022 11:17	1	214,00	0	214,00	213,00	214,00	1,00	215,00
0007898536761000004 Total		1	214,00	0	214,00	213,00	214,00	1,00	215,00
0007898536761000005	02/07/2022 11:18	1	237,00	0	214,00	236,00	237,00	1,00	238,00
0007898536761000005 Total		1	237,00	0	214,00	236,00	237,00	1,00	238,00
0007898536761000006	02/07/2022 11:18	1	213,00	0	214,00	213,00	213,00	1,00	214,00
0007898536761000006 Total		1	213,00	0	214,00	213,00	213,00	1,00	214,00
0007898536761000007	02/07/2022 11:19	1	214,00	0	214,00	213,00	214,00	1,00	215,00
0007898536761000007 Total		1	214,00	0	214,00	213,00	214,00	1,00	215,00
0007898536761000008	02/07/2022 11:19	1	214,00	0	214,00	213,00	214,00	1,00	215,00
0007898536761000008 Total		1	214,00	0	214,00	213,00	214,00	1,00	215,00
0007898536761000009	02/07/2022 11:20	1	214,00	0	215,00	214,00	214,00	1,00	215,00
0007898536761000009 Total		1	214,00	0	215,00	214,00	214,00	1,00	215,00
0007898536761000010	02/07/2022 11:21	1	223,00	0	222,00	222,00	223,00	1,00	224,00
0007898536761000010 Total		1	223,00	0	222,00	222,00	223,00	1,00	224,00
0007898536761000011	02/07/2022 11:22	1	222,00	0	223,00	222,00	222,00	1,00	223,00
0007898536761000011 Total		1	222,00	0	223,00	222,00	222,00	1,00	223,00
0007898536761000012	02/07/2022 11:22	1	229,00	0	229,00	228,00	229,00	1,00	230,00
0007898536761000012 Total		1	229,00	0	229,00	228,00	229,00	1,00	230,00
0007898536761000013	02/07/2022 11:23	1	235,00	0	235,00	234,00	235,00	1,00	236,00
0007898536761000013 Total		1	235,00	0	235,00	234,00	235,00	1,00	236,00
0007898536761000014	02/07/2022 11:23	1	235,00	0	235,00	234,00	235,00	1,00	236,00
0007898536761000014 Total		1	235,00	0	235,00	234,00	235,00	1,00	236,00
0007898536761000015	02/07/2022 11:23	1	235,00	0	235,00	234,00	235,00	1,00	236,00
0007898536761000015 Total		1	235,00	0	235,00	234,00	235,00	1,00	236,00
0007898536761000016	02/07/2022 11:24	1	235,00	0	235,00	234,00	235,00	1,00	236,00

Fonte: Autores (2022).

RESULTADOS

O estudo de caso foi conduzido na Unidade de Beneficiamento de Algodão (UBA), tendo como foco o principal produto gerado: o fardo de pluma de algodão. Esse produto possui o maior valor agregado da planta e é majoritariamente destinado ao mercado externo, exigindo elevados padrões de conformidade, sobretudo quanto ao peso, limpeza e uniformidade das fibras. A fim de compreender de forma sistêmica as oportunidades de melhoria contínua, foi realizado o mapeamento detalhado de todo o processo produtivo, com destaque para os subprodutos gerados, os fluxos de transformação da matéria-prima e os equipamentos envolvidos em cada etapa.

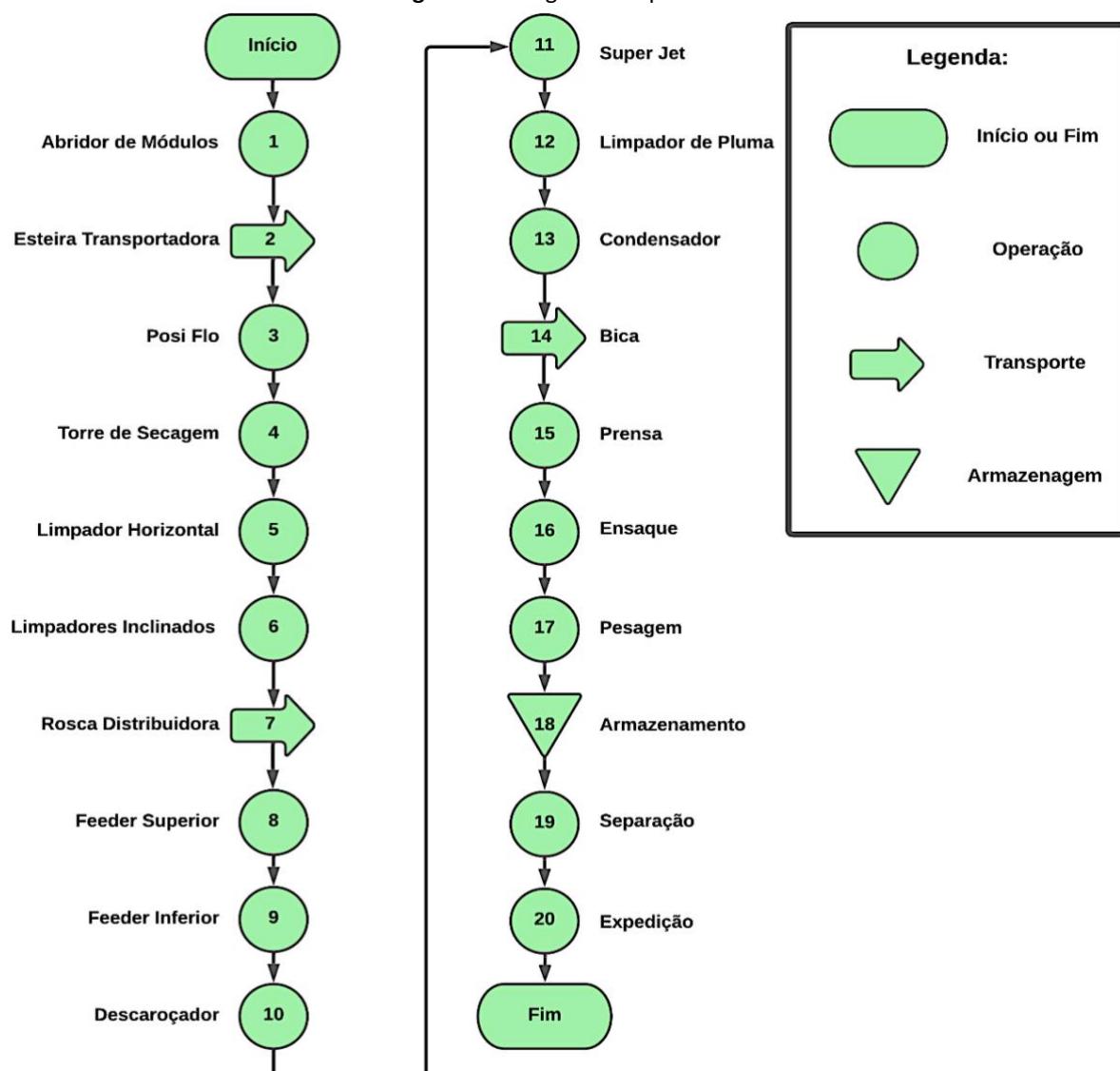
A Figura 2 apresenta os subprodutos oriundos do processo de beneficiamento: fibrilha, caroço e briquete, os quais também são reaproveitados e comercializados em menor escala. Esses subprodutos representam um importante via de valorização da cadeia produtiva e de redução do desperdício industrial.

Figura 2. Subproduto do algodão

Fonte: Autores (2022).

A partir da entrada do algodão em módulos até a expedição do fardo final, o processo é segmentado em 20 etapas sequenciais (Figura 3). Este fluxograma evidencia o caminho percorrido pelo algodão em caroço desde a chegada da lavoura, passando por equipamentos de abertura, transporte, secagem, limpeza, descaroçamento, prensagem e ensaque. Cada etapa foi avaliada quanto à sua contribuição para a qualidade do produto final e à estabilidade do processo.

Figura 3. Fluxograma do processo



Fonte: Autores (2022).

Complementando o fluxograma, a Figura 4 ilustra os principais equipamentos envolvidos no beneficiamento. Entre os mais relevantes para o controle de qualidade da pluma estão:

- Torre de Secagem (1A e 1B): responsável por regular a umidade da matéria-prima;
- Descaroçador: ponto-chave de separação entre pluma e caroço;
- Super Jet e Limpadores de Pluma: cruciais para a remoção de impurezas residuais e fibras não conformes;
- Prensa e Pesagem: determinantes para a formação e padronização dos fardos quanto ao peso final.

Figura 4. Equipamentos utilizados no processo

Fonte: Autores (2022).

A interligação entre esses equipamentos forma um sistema contínuo e automatizado, no qual pequenas variações em temperatura, fluxo de ar, velocidade de alimentação e regulagem de prensa impactam diretamente na qualidade da pluma. Ao longo do processo, sensores e sistemas integrados, como o GATEC PRD, são utilizados para registrar dados de peso, tempo e volume, permitindo o monitoramento em tempo real das condições operacionais.

Esse mapeamento detalhado foi fundamental para identificar os gargalos operacionais e as inconsistências nos parâmetros de produção, que motivaram a aplicação de práticas de melhoria contínua abordadas nas seções seguintes.

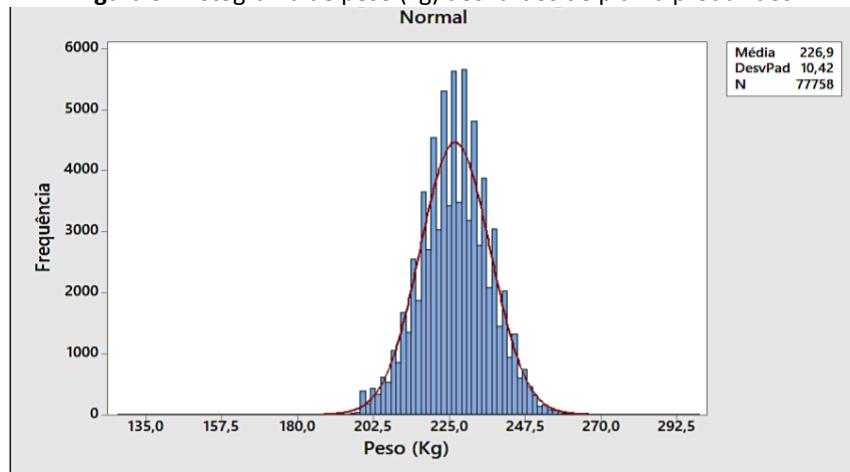
APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE

A partir dos dados coletados na produção de fardos de pluma da safra 2021/2022, foram aplicadas diversas ferramentas da qualidade com o objetivo de compreender o comportamento do processo produtivo, identificar causas de variação, diagnosticar não conformidades e propor melhorias no controle operacional. O software Minitab foi utilizado como principal recurso para a geração dos gráficos e análises estatísticas, permitindo uma interpretação quantitativa e visual dos dados do processo.

A aplicação sistemática dessas ferramentas possibilitou uma abordagem integrada de análise da qualidade, combinando técnicas descritivas e inferenciais para o monitoramento do desempenho produtivo. As etapas seguiram uma sequência lógica de diagnóstico: caracterização da distribuição dos dados, identificação das principais causas de variação, verificação de padrões e determinação de causas-raiz.

HISTOGRAMA

O primeiro passo consistiu em verificar se os dados referentes ao peso dos fardos seguiam uma distribuição normal, o que indicaria um comportamento aleatório e natural do processo. O histograma (Figura 5) apresentou uma distribuição aproximadamente simétrica, com os valores concentrados em torno da média de 226,9 kg. Entretanto, o desvio padrão de 10,42 kg revelou uma alta dispersão, sugerindo variações significativas no processo de prensagem, ainda que a média se mantenha próxima do valor especificado.

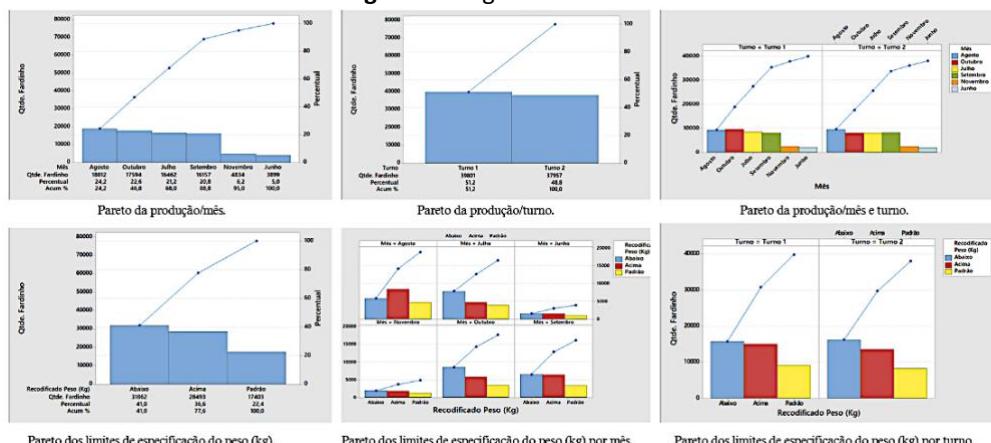
Figura 5. Histograma de peso (kg) dos fardos de pluma produzidos

Fonte: Autores (2022).

Essa etapa foi essencial para avaliar a estabilidade do processo, indicando que, embora o comportamento da distribuição pareça normal, o processo não está sob controle estatístico, devido à amplitude das variações. A interpretação dessa ferramenta foi decisiva para direcionar a aplicação das análises subsequentes, voltadas à identificação das causas dessas flutuações.

DIAGRAMA DE PARETO

O Diagrama de Pareto foi utilizado para identificar as principais causas e frequências de não conformidades. Essa ferramenta baseia-se no princípio de que 80% dos problemas são originados por 20% das causas, permitindo a priorização das ações corretivas (Figura 6).

Figura 6. Diagrama de Pareto

Fonte: Autores (2022).

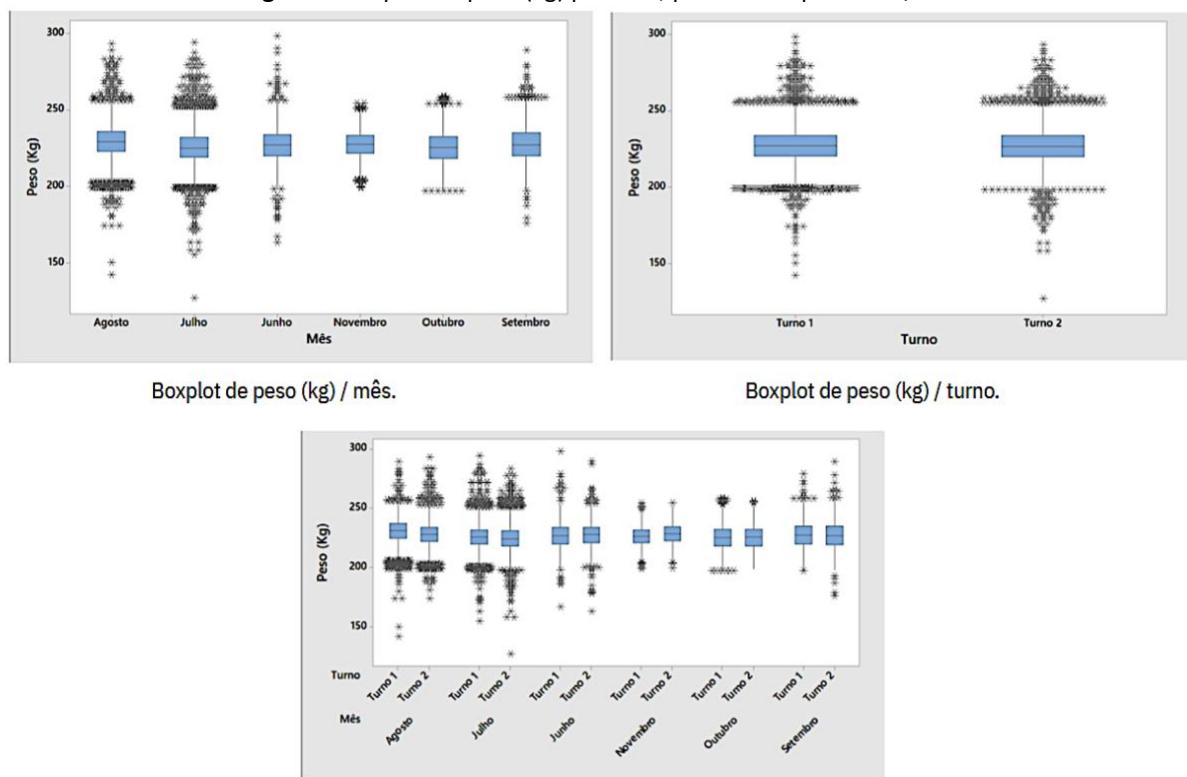
A análise revelou que os maiores volumes de produção ocorreram nos meses de agosto, outubro, julho e setembro; entretanto, observou-se desbalanceamento entre os turnos operacionais. O turno 1 apresentou maior produção em determinados meses, enquanto o turno 2 destacou-se em outros, o que sugere inconsistências operacionais, possivelmente associadas à troca de operadores, falhas mecânicas ou variações na umidificação da pluma. Além disso, a avaliação da conformidade dos pesos demonstrou um índice expressivo de 77,6% de fardos fora dos padrões especificados, sendo 41% abaixo e 36,6% acima do peso ideal. Essa não padronização foi recorrente ao longo dos meses e entre os turnos, revelando instabilidade sistêmica no processo.

O mês de agosto apresentou o maior número de fardos acima do peso, possivelmente relacionado à umidificação excessiva, enquanto julho e outubro mostraram tendência inversa, com maior frequência de fardos abaixo do peso, associada à falta de GLP e à redução da umidade da pluma.

BOXPLOT

A análise exploratória dos dados por meio do *boxplot* (Figura 7) possibilitou uma compreensão mais aprofundada da variabilidade dos pesos dos fardos ao longo do processo de beneficiamento. Essa ferramenta estatística é amplamente utilizada em estudos de controle de qualidade por permitir a visualização gráfica da dispersão, da mediana e da presença de valores atípicos (outliers), fornecendo subsídios para a identificação de inconsistências no processo produtivo.

Figura 7. Boxplot de peso (kg) por mês, por turno e por turno/mês



Fonte: Autores (2022).

Os *boxplots* apresentados demonstram comportamentos distintos entre os meses e os turnos de operação. Observou-se alta amplitude dos dados, com significativa concentração de valores discrepantes, indicando que o processo apresentou instabilidade estatística em diferentes períodos da safra. Tal comportamento evidencia a ocorrência de variabilidades não controladas, o que pode estar relacionado a falhas no ajuste de máquinas, diferenças nas condições ambientais ou falta de padronização operacional entre os turnos.

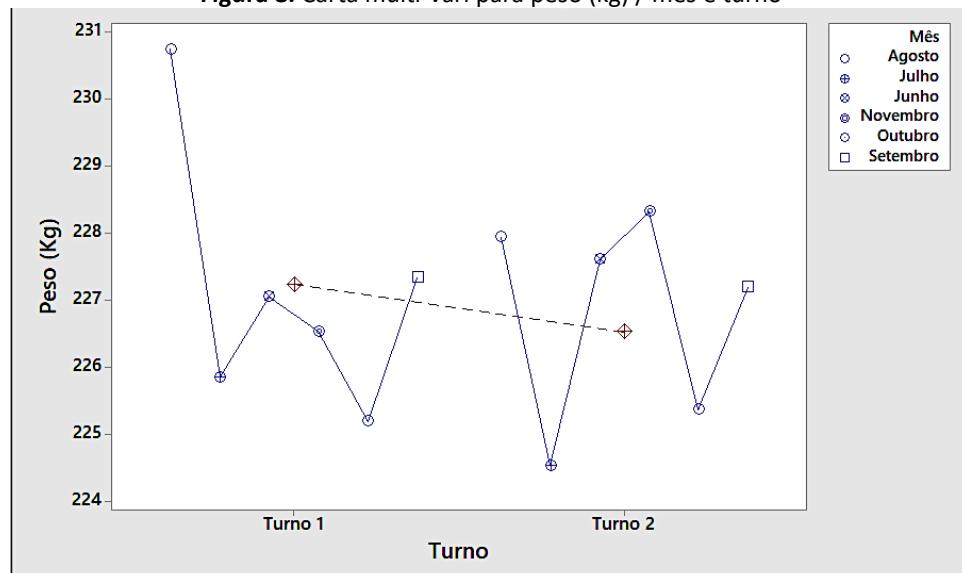
A análise por mês revelou que determinados períodos, como julho e agosto, concentraram maior dispersão de peso entre os fardos, sugerindo oscilações na eficiência do beneficiamento. Já a comparação entre turnos evidenciou variação significativa entre os operadores, indicando que o processo não se manteve homogêneo ao longo da jornada produtiva. Quando observados simultaneamente mês e turno, os *boxplots* mostraram padrões inconsistentes, confirmando a necessidade de revisão dos parâmetros operacionais e de treinamento das equipes envolvidas.

Esses resultados reforçam a importância do *Boxplot* como ferramenta complementar às análises de Pareto e Ishikawa, pois permitem a avaliação visual e estatística da estabilidade do processo, fornecendo informações essenciais para a implementação de ações corretivas e preventivas. Dessa forma, o uso dessa técnica contribui diretamente para o aperfeiçoamento contínuo do controle de qualidade no beneficiamento do algodão, auxiliando na redução de variabilidades, na padronização dos resultados e no aumento da confiabilidade do produto final.

CARTA MULTI-VARI

A carta Multi-Vari (Figura 8) foi empregada com o objetivo de analisar a variabilidade do peso dos fardos de algodão entre diferentes meses e turnos de produção, buscando identificar padrões de variação associados a fatores operacionais e ambientais. Essa ferramenta estatística é particularmente eficaz para visualizar a dispersão e o comportamento das médias em processos industriais, permitindo uma compreensão detalhada das causas de variação e contribuindo para o controle estatístico da qualidade.

Figura 8. Carta multi-vari para peso (kg) / mês e turno

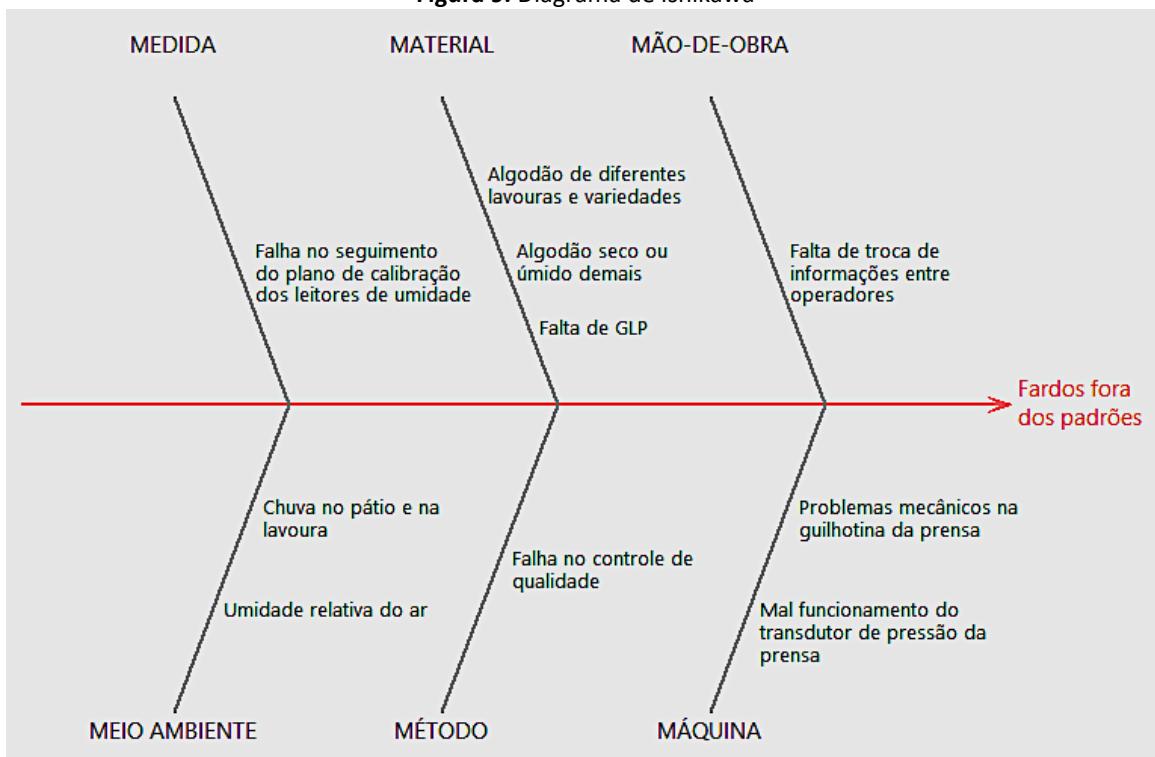


Fonte: Autores (2022).

Esses resultados evidenciam a relevância científica do estudo, uma vez que demonstram como fatores ambientais e humanos interagem na dinâmica produtiva, afetando a estabilidade do processo e a padronização do produto final.

DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O Diagrama de Ishikawa (Figura 9), também conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe, foi utilizado neste estudo com o objetivo de identificar, categorizar e compreender as causas potenciais das não conformidades observadas no peso e na integridade dos fardos de algodão. A aplicação dessa ferramenta possibilitou uma análise estruturada e sistemática das fontes de variabilidade do processo, evidenciando a interação entre fatores humanos, mecânicos, materiais, ambientais e metodológicos.

Figura 9. Diagrama de Ishikawa

Fonte: Autores (2022).

A partir do levantamento realizado, foram identificadas causas associadas a falhas humanas (como a falta de comunicação entre turnos e ausência de padronização operacional), falhas de equipamentos (problemas na prensa, guilhotina e transdutor de pressão), insumos inadequados (variedades distintas de algodão, ausência de GLP e umidade incorreta da pluma) e condições ambientais adversas (chuvas e variações na umidade relativa do ar). O efeito central identificado foi a produção de fardos fora dos limites de especificação de peso, comprometendo o controle estatístico do processo.

A investigação foi conduzida por meio de observações de campo e entrevistas com operadores, permitindo integrar o conhecimento empírico dos colaboradores à análise estatística das variações. Essa abordagem mista reforça a relevância científica do estudo, pois combina técnicas quantitativas de controle da qualidade com métodos qualitativos de diagnóstico organizacional, fortalecendo a compreensão dos fatores críticos de processo.

Figura 10. Fardos com fitas e sacos de tela rompidos

Fonte: Autores (2022).

Conforme ilustrado nas Figuras 10 e 11, as não conformidades ultrapassam o âmbito estatístico, afetando diretamente os custos operacionais e a eficiência logística. O rompimento das fitas e sacos de tela, o retrabalho para reenfardar, os atrasos na expedição e o transporte inadequado devido ao sobre peso ou subpeso dos fardos representam perdas diretas e indiretas significativas. Cada fardo com falha implica um custo médio de R\$ 23,05 em embalagens, além de perdas produtivas e ineficiência na utilização da capacidade logística.

Figura 11. Comprimento aproximado de cada fita de amarração dos fardos de pluma



Fonte: Autores (2022).

Assim, o uso do Diagrama de Ishikawa mostrou-se fundamental para direcionar ações corretivas e preventivas, permitindo à organização priorizar intervenções nas causas de maior impacto e desenvolver um plano de controle voltado à estabilidade e confiabilidade do processo produtivo.

PROPOSTAS DE MELHORIA

Com base nos resultados obtidos por meio da aplicação das ferramentas da qualidade e da análise estatística dos dados de produção da safra 2021/2022, foi possível identificar as principais causas de variação e não conformidades no processo de beneficiamento de algodão. A partir desses achados, foram elaboradas propostas de melhoria voltadas à padronização operacional, estabilidade do processo e elevação do nível de qualidade do produto final.

A alta dispersão dos pesos dos fardos e a ausência de controle estatístico evidenciaram a necessidade de revisão e padronização dos parâmetros de operação das prensas e do sistema de secagem. Recomenda-se a elaboração de Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) que contemplem faixas aceitáveis de temperatura e umidade da pluma antes da prensagem, intervalos de manutenção preventiva dos sensores de pressão e balanças, bem como a definição de limites de controle e alarmes para variações superiores a $\pm 5\%$ no peso alvo. Essa padronização permitirá reduzir a variabilidade do processo e garantir maior consistência entre turnos e lotes produzidos.

A análise do histograma e da carta multi-vari indicou flutuações significativas entre meses e turnos. Assim, propõe-se a implantação de cartas de controle por variáveis (\bar{X} -R ou I-MR) para o monitoramento contínuo do peso dos fardos. Essa prática possibilitará a detecção precoce de desvios e a adoção imediata de ações corretivas. O uso sistemático do Controle Estatístico do Processo (CEP) permitirá ainda avaliar a eficácia das melhorias implementadas e consolidar um sistema de retroalimentação de dados, essencial para a estabilidade e rastreabilidade do processo.

No aspecto humano, o diagrama de Ishikawa revelou falhas de comunicação entre turnos, diferenças na execução das tarefas e ausência de padronização operacional. Recomenda-se a implementação de um programa de capacitação contínua, incluindo treinamentos técnicos sobre regulagem de equipamentos e controle de umidade, sensibilização sobre a importância da qualidade e do cumprimento dos POPs, além da criação de canais de comunicação entre os turnos para registro e repasse de ocorrências. Essa medida busca alinhar o desempenho das equipes, reduzir erros operacionais e fortalecer o engajamento coletivo em torno da qualidade.

As falhas observadas em prensas, guilhotinas e sensores de pesagem também demonstraram a necessidade de aprimorar a manutenção preventiva e a calibração de equipamentos. Sugere-se criar um plano de manutenção preventiva com cronogramas definidos e registros sistemáticos, incluindo a calibração periódica dos instrumentos de medição e controle. Essa ação visa minimizar paradas não programadas, reduzir retrabalhos e garantir precisão nos pesos registrados pelo sistema GATEC PRD.

A variabilidade observada entre meses e turnos também se relaciona às condições ambientais e à disponibilidade de GLP para o processo de secagem. Assim, recomenda-se o monitoramento contínuo da umidade relativa do ar e o ajuste automático da torre de secagem, a criação de um protocolo de contingência para interrupções no fornecimento de GLP e a instalação de sensores adicionais para aferição da umidade da pluma antes e após a secagem. Tais medidas contribuem para manter a uniformidade do produto, reduzindo a probabilidade de fardos fora dos limites de especificação.

Para assegurar a sustentabilidade das ações, propõe-se a implementação de auditorias internas periódicas da qualidade, conduzidas por equipe multidisciplinar. Essas auditorias devem avaliar o cumprimento dos POPs, a conformidade dos registros do CEP e a eficácia das ações corretivas, consolidando o ciclo de melhoria contínua e institucionalizando o controle de qualidade como parte da rotina produtiva.

A partir dessas diretrizes, elaborou-se o plano de ação (Figura 12) estruturado pela metodologia 5W2H, com o objetivo de reduzir a quantidade de fardos não conformes e consolidar uma cultura de melhoria contínua baseada em dados. As ações priorizadas resultam da análise crítica das ferramentas da qualidade, incluindo o diagrama de Pareto, histograma, boxplot, carta multi-vari e diagrama de Ishikawa.

Figura 12. Plano de Ação

O que (What)	Por que (Why)	Quem (Who)	Quando (When)	Onde (Where)	Como (How)	Quanto (How much)
Incluir cláusulas contratuais para fornecimento de GLP	Garantir regularidade no abastecimento e evitar interrupções no processo	Setor de Suprimentos e Jurídico	Antes da próxima safra (jun/2023)	Área administrativa	Revisar contratos com fornecedores e incluir penalidades em caso de falha	R\$ 1.000,00 (custos administrativos)
Substituição e manutenção preventiva do transdutor de pressão da prensa	Garantir estabilidade e precisão no processo de prensagem	Empresa terceirizada PSHTEC	mai/23	Setor industrial – linha de prensagem	Contratar serviço de manutenção e calibração periódica	R\$ 4.000,00
Capacitação dos operadores e fortalecimento da comunicação entre turnos	Reducir falhas humanas e divergências operacionais	RH e Supervisores de Produção	Maio-Junho/2023	Sala de treinamento e área de produção	Realizar workshops sobre CEP, POPs e boas práticas	R\$ 2.500,00
Substituição da guilhotina e revisão hidráulica do carrinho empurrador	Eliminar falhas mecânicas recorrentes	Empresas WMI e Lummus	mai/23	Linha de prensagem	Substituição e revisão de componentes críticos	R\$ 12.000,00
Calibração dos leitores automáticos de umidade	Assegurar precisão nas medições e uniformidade dos fardos	Empresa Samuel Jackson	mai/23	Torre de secagem e linha de prensagem	Calibração e verificação técnica anual	R\$ 3.500,00
Melhoria no transporte e armazenamento de módulos	Evitar módulos molhados e contaminação da pluma	Equipe agrícola e industrial	Durante colheita (jun-set/2023)	Pátio de armazenamento	Implementar cobertura preventiva e check-list de transporte	R\$ 2.000,00
Implantação de auditorias internas da qualidade	Assegurar a manutenção dos padrões de qualidade e do CEP	Coordenação da Qualidade	Trimestralmente	Planta industrial	Auditorias e verificação documental de registros	R\$ 1.500,00/ano

Fonte: Autores (2022).

A execução do plano está prevista para o período anterior ao início da safra de junho de 2023, com acompanhamento sistemático dos indicadores de desempenho e ajustes conforme os resultados observados. A análise crítica das ferramentas da qualidade reforçou que a maior parte das não conformidades concentra-se em poucas causas, permitindo direcionar esforços e investimentos de forma estratégica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo alcançou integralmente seu objetivo de analisar o processo produtivo de uma empresa de beneficiamento de algodão, ao realizar uma análise crítica, sistemática e aplicada do processo, evidenciando a relevância das ferramentas da qualidade e do Controle Estatístico de Processos (CEP) como instrumentos fundamentais para o diagnóstico e a melhoria contínua em ambientes industriais.

A aplicação das ferramentas estatísticas, como histograma, diagrama de Pareto, *boxplot*, carta multi-vari e diagrama de *Ishikawa*, aliada ao uso dos softwares Minitab e Excel, permitiu a identificação de falhas significativas no controle do peso dos fardos de pluma e na padronização operacional. Essa abordagem quantitativa e qualitativa possibilitou compreender a magnitude das não conformidades, cuja taxa atingiu 77,6% na safra 2021/2022, e identificar suas causas principais, associadas a fatores humanos, operacionais e de processo.

As visitas técnicas realizadas *in loco* e a escuta ativa com os colaboradores foram determinantes para o entendimento contextualizado das causas dos desvios, demonstrando que o envolvimento da equipe produtiva e a integração entre os níveis técnico e operacional são pilares essenciais para a gestão da qualidade. Essa dimensão prática do estudo reforça o valor do diagnóstico empírico aliado à análise estatística como base para decisões assertivas e sustentáveis.

Do ponto de vista científico, o estudo contribui para o avanço da aplicação das ferramentas de qualidade na indústria algodoeira, um setor de grande relevância econômica e social, mas ainda pouco explorado sob a ótica do controle estatístico. A pesquisa evidencia a eficácia do CEP como metodologia estruturada para o monitoramento e a estabilização de processos.

A relevância científica deste estudo reside, portanto, em demonstrar empiricamente como a integração entre métodos estatísticos e observação prática pode produzir diagnósticos mais robustos e fundamentar melhorias de caráter permanente no processo produtivo. Além disso, o estudo amplia a discussão sobre a adaptação de modelos de controle e melhoria contínua a setores agroindustriais, consolidando um referencial metodológico para futuras pesquisas.

Sob a ótica aplicada, os resultados obtidos orientam a empresa na priorização de ações corretivas e preventivas, como a padronização de parâmetros de umidificação e prensagem, o aprimoramento da comunicação entre turnos e a criação de um protocolo de verificação contínua dos pesos dos fardos. Tais medidas contribuem para o aumento da eficiência operacional, redução de perdas e elevação do nível de confiabilidade do produto final, refletindo diretamente na competitividade organizacional e na sustentabilidade do negócio.

REFERÊNCIAS

- Anjos, M. C. dos, Souza, C. C. de, Cezar, I. M., Arias, E. R. A., & Reis Neto, J. F. dos. (2012). O uso do método PDCA e de ferramentas da qualidade na gestão da agroindústria no Estado de Mato Grosso do Sul. *Agrarian*, 5(15), 75-83. Recuperado de <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11248>
- Baldasso, G., Viana, M. C., & Souza, D. L. de. (2020). Controle estatístico de processo na produção de requeijão. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(5), 318–327. Recuperado de <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0032>
- Bononi, D. F. & Polli, H. Q. (2020). Aplicabilidade da ferramenta FMEA na mitigação de falhas de processos produtivos da agroindústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, 17(2), 513-522.
- Busto, A. & Pigatto, G. (2024). Rastreabilidade e controle de qualidade na cadeia produtiva do algodão: desafios e perspectivas para o agronegócio brasileiro. *Gestão e Produção Agroindustrial*, 21(2), 55-68.

- Carrijo, P. R. S., Campos, D. F. de, & Chaves, G. L. D. (2024). Lean manufacturing in agriculture: Benefits, obstacles, and perspectives. *Gestão & Produção*, 31(1), e012345. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/0104-530X3142-24>
- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). (2020). *PIB cadeias do agronegócio - 2017*. CEPEA: Piracicaba.
- CNA, & CEPEA. (2022). *PIB do agronegócio brasileiro cai para 25,5% em 2022*. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. <https://www.cnabrasil.org.br>
- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) & Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). (2022). *PIB do agronegócio brasileiro: Relatório anual 2022*. Brasília, DF: CNA. Recuperado de <https://www.cepea.esalq.usp.br>
- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). (2022). Panorama do Agro. CNA. Recuperado de <https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>
- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). (2023, 11 de janeiro). Alta dos custos pressiona PIB do agronegócio no primeiro semestre recuo de 2,48%. Recuperado de <https://cnabrasil.org.br/publicacoes/alta-dos-custos-pressiona-pib-do-agronegocio-no-primeiro-semestre-recuo-de-2-48>
- Costa, C. A., Silva, P. R., & Almeida, J. F. (2017). *Gestão da qualidade no agronegócio: uma abordagem sistêmica*. Revista Brasileira de Administração e Inovação, 14(3), 42-59. <https://doi.org/10.11606/rbai.v14i3.12897>
- Costa, M. S. D. & Marjotta-Mastro, M. C. (2017). Indicadores de qualidade da infraestrutura logística brasileira: um estudo para o agronegócio. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, 4(9).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2023). Agroindústria. EMBRAPA. Recuperado de <https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/agroindustria#:~:text=A%20agroind%C3%A9stria%20tem%20participa%C3%A7%C3%A3o%20de,e,com%20a%20economia%20de%20mercado>
- Engel, B. S. & Fernandes, D. M. M. (2015). Agroindústrias familiares no Rio Grande do Sul: características principais. V SEBE – Seminário de Ensino Pesquisa e Extensão. Recuperado de <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/SEPE-UFFS/article/viewFile/2738/1623>
- Engel, C. & Fernandes, R. (2015). Agroindústria e desenvolvimento regional: A importância do processamento de produtos agropecuários. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53(2), 345-362. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/1234-56781806>
- Silva, K. K. N., Amorim, R. M. C., & Silva, Y. L. T. V.
- Engel, V. C. & Fernandes, L. M. (2015). *A agroindústria como fator de integração e desenvolvimento rural*. Revista de Economia e Sociologia Rural, 53(1), 101-120. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806>
- John, B. & Singhal, S. (2019). An application of integrated EPC–SPC methodology for simultaneously monitoring multiple output characteristics. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 36(5), 669-685.
- Lobo, R. N. (2010). Gestão da qualidade: as sete ferramentas da qualidade, análise e solução de problemas, JIT, Kaisen, Housekeeping, Kanban, Femea, Reengenharia (1ª ed.). São Paulo: Érica.
- Nguyen, H. T., Phan, A. C., & Matsui, Y. (2020). *Impact of quality management practices on operational performance: Evidence from manufacturing and agribusiness industries*. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(3), 543-565. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2019-0141>
- Nguyen, V. T., Nguyen, T. A., & Nguyen, N. P. (2020). Practical application of Plan–Do–Check–Act cycle for packaging process. *Applied Sciences*, 10(18), 6332. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/app10186332>
- Santos, D. A. (2020). Aproveitamento de resíduos do algodão na alimentação de cordeiros: Viabilidade nutricional e econômica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49(1), e20190234. Recuperado de <https://doi.org/10.37496/rbz4920190234>
- Santos, E. B. C. (2020). Resíduo da agroindústria de girassol e algodão em substituição à silagem de milho na dieta de ovinos (Tese de doutorado, Universidade Federal de Mato Grosso).
- Stort, L. G. (2022). Quality tools application to improve cost management in a food and nutrition unit: A case study. *Research, Society and Development*, 11(4), e35254. Recuperado de <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.35254>
- Stort, M. & Lisboa, F. S. (2022). *Aplicação das ferramentas da qualidade para redução de falhas em processos industriais*. Revista de Engenharia e Tecnologia Aplicada, 8(2), 25-39. <https://doi.org/10.21576/reta.v8i2.312>
- Venanzi, D. (2018). Application of quality tools in solving process problems: A case study in a manufacturing company. *Independent Journal of Management & Production*, 9(2), 529-548. Recuperado de <https://doi.org/10.14807/ijmp.v9i2.734>
- Zhang, Y. (2023). *Factors influencing cotton fiber quality and stability: An integrated analysis of agronomic and industrial processes*. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(4), 1123-1138. <https://doi.org/10.1007/s12355-023-00765-4>