




IMPLANTAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SIX SIGMA EM UMA EMPRESA DE CÉLULOSE E PAPEL: UM ESTUDO DE CASO NO PARANÁ

IMPLEMENTATION OF THE LEAN SIX SIGMA METHODOLOGY IN A PULP AND PAPER COMPANY: A CASE STUDY IN PARANÁ

Gabriel Kum de Oliveira*  E-mail: gabrielkumltb@gmail.com
Vitor Hugo dos Santos Filho**  E-mail: vitorhugosantosfilho@hotmail.com
Pedro Vieira Souza Santos***  E-mail: pedrovieirass@hotmail.com

*Centro Universitário de Telêmaco Borba (UNIFATEB), Telêmaco Borba, PR, Brasil.

**Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, PR, Brasil.

***Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, PE, Brasil.

Resumo: Nos últimos anos, as empresas têm reconhecido a importância de eliminar desperdícios em seus processos. Essa percepção levou ao desenvolvimento de metodologias voltadas para a redução de desperdícios na linha de produção. Duas dessas metodologias se destacam: o Lean Manufacturing e o Six Sigma. A integração dessas abordagens resultou no Lean Six Sigma, uma poderosa ferramenta para otimização de processos industriais. Este estudo tem como objetivo a implementação da metodologia Lean Six Sigma para reduzir a variabilidade na eficiência de uma caldeira de recuperação em uma empresa de fabricação de celulose e papel sediada no Paraná, Brasil. Para alcançar esse objetivo, foi adotada a estrutura DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), complementada pela ferramenta SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*). Ao longo do estudo, foram calculados o nível sigma do processo, assim como os índices de Cp e Cpk. Além disso, foram aplicadas técnicas como o Diagrama de Ishikawa, FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha), matriz de priorização, aplicação versus impacto e o checklist de verificação. Os resultados demonstraram uma melhoria significativa no processo estudado: a eficiência da caldeira de recuperação evoluiu de um nível de 2 sigma para 3 sigma. Houve uma importante redução de 76% nos defeitos por milhão de oportunidades, enquanto o percentual de defeitos caiu de 30,9% para 6,68%. Esses resultados evidenciam a eficácia da aplicação da metodologia Lean Six Sigma na empresa.

Palavras-chave: Lean Six Sigma; Recuperação; Eficiência de Redução.

Abstract: In recent years, companies have recognized the importance of eliminating waste in their processes. This perception led to the development of methodologies aimed at reducing waste in the production line. Two of these methodologies stand out: Lean Manufacturing and Six Sigma. The integration of these approaches resulted in Lean Six Sigma, a powerful tool for optimizing industrial processes. This study aims to implement the Lean Six Sigma methodology to reduce variability in the efficiency of a recovery boiler in a pulp and paper manufacturing company based in Paraná, Brazil. To achieve this objective, the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) structure was adopted, complemented by the SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer) tool. Throughout the study, the sigma level of the process was calculated, as well as the Cp and Cpk indices. In addition, techniques such as the Ishikawa Diagram, FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), prioritization matrix, application versus impact and the verification checklist were applied. The results demonstrated a significant improvement in the studied process: the efficiency of the recovery boiler evolved from a level of 2 sigma to 3 sigma. There was a significant 76% reduction in defects per million opportunities, while the percentage of defects fell from 30.9% to 6.68%. These results demonstrate the effectiveness of applying the Lean Six Sigma methodology in the company.

Keywords: Lean Six Sigma; Recovery, Reduction Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade de acordo com Alves (2013) surgiu logo após a Segunda Guerra Mundial com o Sistema Toyota de Produção (STP), em que, o Japão encontrava-se devastado. Essa redução fez com que a Toyota tivesse que se adaptar a nova realidade do país, ajustando sua produção.

Algumas metodologias foram implantadas nesse período, sendo uma dessas o *Six Sigma* que focava na redução de desperdícios, logo, a metodologia passou por modificações até chegar a metodologia *Lean Seis Sigma*. Por meio da redução de eventos indesejados pela aplicação de métodos estatísticos, reduz-se a variabilidade interna nos processos para o aumento na confiabilidade dos produtos.

Trata-se de uma abordagem que tem se tornando uma grande aliada no meio corporativo, em que as empresas buscam cada vez mais reduzir falhas e desperdícios, sendo utilizada em diversos ambientes tomando como referência a satisfação do cliente e visando reduzir a variabilidade do produto (Oliveira *et al.*, 2022; Soares, 2022).

Segundo Silva (2011), o *Lean Six Sigma* permite às organizações incrementar seus lucros por meio de otimização de operações, melhoria da qualidade e eliminação de defeitos, imperfeições e erros. A metodologia destaca-se entre as demais com a finalidade de aperfeiçoar cada vez mais os processos existentes nas empresas, visando aumentar a capacidade dos processos e pode ser classificada como a principal ferramenta para melhoria de um processo já existente (Motta; 2017; Venanzi, 2017).

O *Lean Seis Sigma* originou-se do *Lean Manufacturing* e tem por objetivo evitar perdas e desperdícios, eliminando da cadeia operacional as execuções que não agregam valor ao processo produtivo sendo dispensável ao parâmetro do produto (Riani, 2006). Desta forma, este estudo aplicou um parâmetro de uma caldeira de recuperação em que foi analisada a eficiência de redução durante a queima do licor negro. A eficiência de redução de uma caldeira de recuperação é o que diz o quanto a queima está sendo eficiente no processo, sendo considerado um dos principais parâmetros de controle do processo exigindo um número mínimo de variação (Tjahjono, 2010).

Para realizar análises de variações no processo torna-se necessário o uso da metodologia *Lean Six Sigma*, com o auxílio do método DMAIC. Para a aplicação do método, faz-se necessário conhecer o processo, o produto que está sendo analisado e a exigência do consumidor (Oliveira, 2018). Com isso, este estudo tem por objetivo implantar a metodologia *Lean Six Sigma* para diminuir a variabilidade na eficiência de redução em uma caldeira de recuperação em uma indústria de celulose e papel localizada no Paraná – PR.

Justifica-se na necessidade de diminuir variações no resultado da eficiência de redução de uma caldeira de recuperação onde estas variações acusam uma deficiência na queima perdendo rendimento na recuperação de subprodutos podendo gerar altos custos e não conformidades (Souza, 2018).

A caldeira de recuperação em uma indústria de fabricação de papel é responsável pelo tratamento de subprodutos do processo em que variações impactam diretamente no custo de consumo de produtos químicos para repor inorgânicos do processo, impacta no consumo de energia visto que a caldeira de recuperação é responsável pela geração de vapor para geração de energia da fábrica. Além de impactos financeiros, as variações em um processo de recuperação podem causar impactos ambientais como emissões atmosféricas fora do limite legal e consumo de água elevado (Reis, 2021).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO/LEAN MANUFACTURING

O Sistema Toyota de Produção (STP) ou *Toyota Production System* (TPS), é um modelo estratégico que visa, sobretudo, reduzir desperdícios da linha produtiva. Para essa realização, o TPS possui pilares, como o *Jidoka* e o *Just-in-time* desenvolvidos por Taiichi Ohno com o objetivo de agregar mais valor ao produto e diminuir prazos de entrega, fazendo uma readequação do processo produtivo, por meio da eliminação de processos desnecessários (Ohno, 1988; Santos et al., 2019).

O sistema *Jidoka* consiste na reparação imediata do produto durante o processo de fabricação, sendo importante para evitar a produção de peças defeituosas gerando prejuízo e desperdício (Shingo, 1996). Já o sistema *Just in Time* define que só haverá produção na quantidade e momento necessário, produzindo

somente se houver demanda. O método identifica o excesso em estoques evitando a desvalorização do produto (Callefi, 2020).

O *Lean Manufacturing* surgiu no Japão para melhorar a linha de produção da *Toyota* logo após a Segunda Guerra Mundial, onde as indústrias enfrentavam dificuldades em reestabelecer a organização do trabalho. Essa nova realidade tratou de um conceito de gestão onde o objetivo era aumentar a produção agregando maior valor ao cliente e diminuindo a quantidade de recursos necessários para a produção (Silva, 2011; Santos; Araújo, 2018).

Essa Filosofia utiliza um conjunto de ferramentas focado em reduzir os desperdícios existentes em uma linha de produção, onde os executantes são capacitados para saber como resolver qualquer erro que surja durante o processo de produção (Riani, 2006). Segundo Venturini (2019) o desperdício caracteriza-se como um erro de produção onde não se agrega nenhum valor ao produto. A metodologia *Lean* classifica os desperdícios em aspectos específicos, a fim de, facilitar a identificação para as atividades de melhoria.

2.2 LEAN SEIS SIGMA

A metodologia *Lean Seis Sigma* representa a união entre os conceitos de redução de variabilidade com diminuição e eliminação de desperdícios. Assim que as empresas perceberam a convergência entre os métodos começaram a utilizar as duas abordagens nos mesmos processos (Taqueti, 2017). As abordagens podem ser definidas como estratégia para aumentar os lucros e aperfeiçoar a eficácia e eficiência de processos, por meio da metodologia DMAIC que serve para identificar erros e respectivas causas para então tratá-los. A metodologia visa aumentar a capacidade dos processos e pode ser classificada como principal ferramenta quando se objetiva a melhoria de um processo já existente (Venanzi, 2017).

A metodologia foi desenvolvida pela Motorola nos anos 1990 e rapidamente ganhou adeptos por toda a indústria e serviços norte-americanos. Atualmente é frequente a aplicação do *Seis Sigmas* após a estabilização dos processos obtido após a implantação da filosofia *Lean Thinking* (pensamento enxuto), que visa fornecer uma nova maneira de pensar sobre como organizar as atividades humanas para entregar mais benefícios para a sociedade e valor para os indivíduos, eliminando o desperdício (Soares, 2022).

Apesar de utilizar das duas estratégias ainda sobressaem os conceitos do *Seis Sigma* devido as suas ferramentas serem mais objetivas e trazerem resultados rápidos e visíveis. Ao utilizar das duas ferramentas em conjunto a empresa pode-se potencializar as melhorias no processo, em que se utilizada de maneira eficiente, além de diminuir a variação no processo reduz também os desperdícios. Utilizando o *Lean Seis Sigma* tem-se um planejamento de ação integrado e inteligente que aperfeiçoa os fluxos de trabalho (Tjahjono, 2010).

Uma das vantagens de utilizar a metodologia *Lean Six Sigma* é a capacidade de previsão do processo em que extrapola o que se sabe sobre o produto que se produzirá, para isso, pode-se utilizar o C_p que mede a capacidade do processo e o C_{pk} que calcula a índice da capacidade do processo considerando o deslocamento da média com relação ao valor alvo (Taqueti, 2017). Apesar dos riscos inerentes em extrapolar valores, é razoável fazê-lo quando se sabe que o processo se comportou de forma previsível no passado, isto é, se comportou dentro de seus Limites de Controle, ou esteve sob Controle Estatístico (Chiminelli, 2018).

Com relação à visão geral do *Seis Sigma*, pode-se classificar como sendo uma abordagem estatística, onde o foco está na quantificação da variação, que é feita em quantidades de desvios padrão associados a uma variável de interesse no estudo de um processo (Souza, 2013). Esta visão está relacionada aos conceitos de controle estatístico de processos, por isso, é comum encontrar na literatura muitas referências ao *Seis Sigma* descrevendo a relação dos índices de capacidade de processo com o padrão *Seis Sigmas*, bem como esclarecimentos sobre a origem do valor 3,4 PPM (partes por milhão), como sendo um valor descritivo da quase perfeição e do padrão de qualidade *Seis Sigmas* (Santos, 2008).

Um nível de qualidade *Seis Sigma* na visão de Souza (2013) corresponde a 3,4 defeitos por milhão de amostras (3,4 ppm), representando elevada qualidade e mínima variabilidade do processo. Para um processo industrial ou de serviços, o valor *sigma* (σ) é uma métrica que indica qual a capacidade do processo. Quanto mais reduzido for o valor de sigma, melhor a sua capacidade, e menos provável será a ocorrência de defeitos. O nível mais alto da escala *sigma* é o nível 6 onde existem 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, gerando uma taxa de acerto de 99,99966%. Para definir o nível sigma, deve-se levantar o número de oportunidades de defeito por unidade (DPO), em que a unidade é um produto ou serviço e as oportunidades de defeito são aqueles que são indesejáveis ao cliente (Oliveira, 2018).

2.3 DMAIC

O DMAIC é um método utilizado para desenvolver o *Lean Seis Sigma*, sendo constituído por 5 etapas a serem aplicados em ordem para obter o resultado esperado (Souza, 2018). A primeira etapa do DMAIC é o Definir (*Define*) onde os objetivos do projeto são definidos e tem-se as oportunidades de melhoria identificadas, como o escopo do projeto e seus participantes. Para desenvolvimento desta etapa pode-se utilizar ferramenta auxiliar como a matriz SIPOC que significa *Suppliers* (Fornecedores), *Inputs* (Entradas), *Process* (Processo), *Outputs* (Saídas) e *Customers* (Clientes), sendo tratado como o diagrama direcionador, apresentando uma visão geral de alto nível as pessoas que não estão familiarizados com o processo (Fernandes *et al.*, 2021).

A segunda etapa é Medir (*Measure*) que realiza o levantamento de dados para avaliar o atual cenário para definir fluxograma, sistema de medição, gráfico de tendências, estatísticas descritivas, capacidade e análise de indicadores, pode ser utilizado o diagrama de *Ishikawa* que é um gráfico cuja finalidade é organizar o raciocínio em discussões de um problema prioritário, em processos diversos, especialmente na produção (Mast, 2012).

A terceira etapa é Analisar - *Analyse* em que são analisados causas e efeitos para identificar qual é a raiz do problema. Para a identificação, é preciso analisar possíveis causas, examinando a correlação entre variáveis, logo, esse passo só pode ser realizado se os passos anteriores forem realizados para que se possa realizar uma análise dos dados. Nesta etapa, pode-se utilizar o FMEA que é um método que permite tomar uma decisão entre hipóteses levantadas classificando-as por ocorrência, severidade e detecção (Widodo; Soediantono, 2022).

A quarta etapa é Melhorar – *Improve* que aplica as ferramentas para solucionar as oportunidades de melhorias expostas pela etapa anterior. São realizadas e testadas propostas priorizando sempre as soluções de fácil implantação e de alta eficiência, utilizando a matriz de priorização aplicação *versus* impacto, em que o impacto pode ser classificado por alto, médio e baixo e a aplicação por fácil, média e difícil, definindo assim a criticidade (Souza, 2018).

A última etapa é Controlar – *Control* em que todas as ações estabelecidas nas etapas anteriores são monitoradas para que não se percam, pode-se monitorar os resultados a partir de *checklists* que constam as etapas a serem seguidas e descreve

como as atividades devem ser realizadas. Com isso, essa etapa deve ser sempre revisada, pois, é onde podem surgir novas oportunidades de melhoria (Lynch, 2003).

2.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL *KRAFT*

De acordo com Navarro (2007) o processo de fabricação de papel pode ser classificado em etapas, sendo elas contínua ou em batelada. O processo contínuo é quando a matéria bruta entra por um lado e sai do outro já processado sem parar, já o processo por batelada funciona com a entrada do material bruto, o processamento e retirada do material parando a alimentação do processo.

A fabricação de papel inicia-se no preparo de madeira onde recebe a matéria prima das florestas. Nesta etapa a madeira é descascada por descascadores de tambor e reduzidas a cavacos por um picador de facas, os cavacos são classificados por peneiras a partir do tamanho em três níveis com espessura e largura menores que 3 mm, em padrões que possuem entre 15 e 25 mm de comprimento e espessura de 2 a 8 mm e os maiores que possuem comprimento maior que 25mm e espessura maior que 8 mm (Araujo, 2019).

O aceite é enviado até a polpação onde a lignina, parte inutilizável da madeira que confere resistência às fibras de celulose, é removida em um digestor no processo químico (processo *Kraft*). Com isso, a lignina dissolve-se após cozimento dos cavacos com um licor alcalino chamado de licor branco composto de (*NaOH*) e (*Na₂S*). A polpa é, então, formada pela celulose, agora livre de lignina. Como subproduto do processo, forma-se o licor negro, líquido tóxico que é enviado até o processo de recuperação química (Almeida, 2006).

Segundo Reis (2021), o processo de recuperação química recebe o licor negro o converte em licor verde a partir da queima gerando vapor utilizado na geração de energia e na secagem do papel. O licor verde passa pelo processo de caustificação e se torna licor branco novamente retornando aos digestores para realizar o cozimento da madeira.

Em seguida a polpa extraída pelo digestor no processo *kraft* não é branqueada, logo não passa pela etapa de branqueamento sendo enviada para o processo de preparo de massa onde a polpa transforma em uma pasta proveniente de uma sequência de etapas que envolvem tratamento com aditivos químicos e alterações de temperatura, para que o papel adquira algumas especificações, como

a gramatura, cor da folha, resistência à umidade e qualidade da impressão e tração (Diogo, 2012).

Após o preparo de massa a polpa é enviada até as máquinas de papel na qual se retira o resto da água, passando por cilindros secadores que são aquecidos com vapor. Após isso, o papel passa por alguns equipamentos, como a rebobinadeira, desenroladeira e cortadeira, para que esteja nas especificações desejadas pelo fabricante de tamanho e largura (Alves, 2015).

2.5 PROCESSO DE RECUPERAÇÃO QUÍMICA

O processo de recuperação química é o setor da fábrica de celulose e papel onde os subprodutos do processo são recuperados, evitando descarte para efluente e adição de novos produtos no ciclo gerando menor custo no processo e melhor índice ambiental (Reis, 2021). O ciclo pode ser classificado em etapas desde o recebimento do licor negro de extração dos digestores até o licor branco da caustificação (Silva, 2016). O licor negro é recebido na etapa de evaporação em uma concentração de aproximadamente 20% de sólidos, onde pode definir sua composição de matéria orgânica e inorgânica (Almeida, 2010).

Araújo (2022) ressalta que o licor negro é submetido a um processo de concentração passando por evaporadores chamados de efeitos, onde o licor troca calor de maneira indireta com vapor e evaporado chegando a uma concentração por volta de 78% de sólidos. Após o licor negro atingir a sua concentração de queima é enviado até a caldeira de recuperação que atua como um reator onde é injetado em aspensão por bocais de licor sendo toda sua matéria orgânica queimados em suspensão e a inorgânica reduzida composta principalmente por hidróxido de sódio ($NaOH$) e sulfato de sódio (Na_2SO_4), além de carbonato de sódio (Na_2CO_3). O licor negro é submetido a queima com deficiência de oxigênio (O_2) para que ocorra a oxirredução do sulfato (Na_2SO_4) para sulfeto (Na_2S) esse parâmetro é acompanhado a partir da eficiência de redução (Silva, 2016).

3 METODOLOGIA

A metodologia consistiu na aplicação do *DMAIC* junto ao uso de ferramentas auxiliares, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Etapas, Ferramentas e Métodos utilizados na implantação do DMAIC

Etapa	Ferramenta	Método
Definir <i>Define</i>	- SIPOC	Para definição do projeto, foi aplicada a ferramenta SIPOC, que teve como objetivo definir os fornecedores, entradas, saídas e clientes envolvidos durante todo o processo analisado.
Medir <i>Measure</i>	- Diagrama de <i>Ishikawa</i> e Cálculo SIGMA	Definiu-se o conjunto de causas que levam a um efeito como mão de obra, máquina, meio ambiente, material, medida e métodos. Nesta etapa, calculou o nível <i>sigma</i> atual da empresa, obtendo o DPMO e convertendo em nível <i>sigma</i> .
Analisar <i>Analyse</i>	- FMEA	Identificou-se as possíveis falhas de um produto ou processo apontando os riscos que ela pode causar. Dessa forma, foi possível elaborar uma estratégia de ação para evitar ou amenizar a falha e seus possíveis efeitos.
Melhorar <i>Improve</i>	- Matriz de priorização Aplicação <i>versus</i> impacto	Utilizou-se para relacionar as soluções aos investimentos, esforços e impactos envolvidos, para saber qual ação deve ser tomada.
Controlar <i>Control</i>	- <i>Checklist</i> verificação de	Com base nos resultados obtidos, foi elaborado um <i>checklist</i> de verificação para que as melhorias alcançadas fossem mantidas.

Fonte: Autores (2023).

Na primeira etapa Definir - *Define*, implementou a matriz SIPOC para tornar o processo visual e para compreender o seu funcionamento. Em seguida, foi identificado onde estava o problema para que a metodologia *Lean Six Sigma* fosse aplicada identificando os fornecedores, clientes e processos, por meio de entrevistas com operadores da planta e supervisores especialistas.

Na etapa de Medir - *Measure*, realizou-se o levantamento das informações de resultados de análise de eficiência de redução em um banco de dados, em um período de 2 meses. Também foi realizado o cálculo do nível *sigma* atual da empresa na etapa 4, tendo como base o limite de especificação fornecido pela organização de limite inferior de especificação igual a 90% e sem limite superior de especificação de acordo com a Equação 1, obtendo o DPMO. Logo, pôde-se converter ao nível *Sigma* e elaborou-se o Diagrama de *Ishikawa* para que se pudesse qualificar o problema.

Mediante a etapa Analisar - *Analyse*, o problema foi analisado com base nos dados levantados utilizando o FMEA e analisou-se a causa raiz do problema classificando por ocorrência, detecção e severidade atribuindo uma nota de 1 a 5, onde foram multiplicadas resultando no risco para o processo que quanto maior mais rápido deveria ser tratado.

Na etapa Melhorar - *Improve*, foi utilizado a matriz de priorização aplicação *versus* impacto para definir qual ação seria tomada, classificando por ação de fácil

aplicação e de alto impacto a maior prioridade de aplicação e a ação de difícil aplicação que envolve mais áreas de operação e baixo impacto que causam poucas alterações e menor prioridade nesta etapa aplicou-se as ações de melhoria do processo. Nesta etapa também se desenvolveu uma planilha eletrônica para a correção de relação de ar combustível no *Microsoft Excel*, sendo que, nesta tabela, calculou-se a vazão de ar necessária para a produção em Toneladas de Sólidos Secos por hora (Tss/h) da caldeira.

Na última etapa, Controlar - *Control*, foi analisado o impacto causado pela implantação da metodologia *Lean Six Sigma*. Constatou as mudanças e realizou um novo cálculo do nível sigma para monitorar os resultados. E ainda, para garantir que os resultados alcançados não se perdessem elaborou-se um *checklist* com as etapas do processo a serem seguidas, onde descreveu os procedimentos padronizados de operação do equipamento para que haja um padrão diminuindo assim a variabilidade.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO

O estudo iniciou-se desenvolvendo a etapa *Define* do DMAIC para analisar o processo de recuperação do licor negro e compreender o seu funcionamento. Para tanto, utilizou-se a ferramenta SIPOC, em que foi possível identificar as etapas do processo, fornecedores, entradas e saídas de produto e os clientes que são os afetados com possíveis variações do processo, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Análise SIPOC do Processo de Recuperação do Licor Negro

RECUPERAÇÃO DE LICOR NEGRO				
S	I	P	O	C
Supplier	Inputs	Process	Outputs	Customers
Digestores	Licor negro fraco	Recebimento do licor negro	Licor verde	Caustificação
		Concentração na evaporação		
Caustificação	Água Alcalina	Queima do Licor negro na caldeira de recuperação	Vapor	Turbogeradores
		Redução do sulfato para sulfeto		
Ventiladores de ventilação forçada com sistema de aquecimento de ar	Ar aquecido	Geração do licor verde		Máquinas de papel

Fonte: Autores (2023).

De acordo com o Quadro 2, os clientes que são beneficiados com o processo de recuperação do licor negro são a caustificação que recebe o licor verde, turbogeradores que recebem o vapor e máquinas de papel que recebem o vapor. Estes clientes podem sofrer impacto direto com a perda de eficiência de redução. Os fornecedores são caustificação com água alcalina, os digestores com licor negro e ventiladores de ar de combustão. As etapas do processo se resumem ao recebimento do licor negro tratamento e envio do licor verde. Após analisar como funciona o processo a partir do SIPOC, foram coletados dados referentes a dois meses de análises (maio e junho) devido ao curto período disponível para a realização do estudo.

Após coleta dos dados, o número de amostras analisados foram de 61, com um total de 17 defeitos considerando uma meta de eficiência de redução acima de 90%. Foi possível observar que existe uma grande variabilidade no processo no mês de maio tanto para valores acima da meta de especificação quanto os valores abaixo da meta, esta variação se repetiu para o mês de junho. A partir das variações presentes no processo e também os resultados abaixo do limite de especificação que foi fornecido pela empresa, calculou-se o DPMO do processo conforme Equação 1.

$$DPMO = \frac{17 \times 10^6}{1 \times 61} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

DPMO: Defeitos Por milhão de oportunidades = 278.688,5

ND: Defeitos encontrados = 17

NO: Número de oportunidades = 1

NU: Número de Unidades = 61

Realizado o cálculo de DPMO, encontrou-se um valor de 278.688,5 defeitos por milhão de oportunidades, ou seja, o processo encontra-se no nível 2 *sigmas* apresentando uma taxa de erro de 30,9%. Calculado o nível *sigma* calculou-se o *Cp* do processo de acordo com a Equação 2 e o *Cpk* de acordo com a Equação 3.

$$Cp = \frac{90}{6 \times 2,48} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

CP: Capacidade Potencial do Processo = 6,04

LIE: Limite Inferior de Especificação = 90

LSE: Limite Superior de Especificação = Sem limite superior

σ : Desvio padrão calculado a partir da amostragem de medições = 2,48

$$C_{pk} = \min \frac{((91,2-90);(91,2))}{3 \times 2,48} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

Cpk: Capacidade Efetiva do Processo = 0,16

LIE: Limite Inferior de Especificação = 90

LSE: Limite Superior de Especificação = Sem limite superior

σ : Desvio padrão calculado a partir da amostragem de medições = 2,48

X: Mediana da característica medida = 91,2

Após o cálculo do nível *sigma* atual do processo (nível 2) elaborou-se o Diagrama de *Ishikawa* a partir de um *brainstorming* com os operadores para levantar possíveis causas geradoras de defeitos no processo. Com base no Diagrama (Quadro 1), observaram-se as possíveis causas que poderiam influenciar nos resultados como mão de obra sem treinamentos, materiais inadequados para atividade e falta de padronização no processo. Após levantar estas hipóteses elaborou-se o FMEA foi feita uma reunião com os operadores para discutir às hipóteses e ponderá-las como o critério de detecção, severidade e ocorrência como representado no Quadro 3.

Quadro 3 – Análise FMEA modos de Falha do Processo de Recuperação de Licor Negro

Análise de modo e efeito de falha potencial									
Área: Recuperação		Responsável: *****							
Sistema: Caldeira		Função: *****							
Nome do componente	Função do componente	Modo(s) de falha	Efeito(s) Potencial(is) de Falha(s)	O	S	D	Risco	Ação Corretiva Recomendada	
Caldeira de Recuperação	Recuperar inorgânicos presentes no licor Negro	Teor baixo de químicos presente no licor	Dificuldade na redução de sulfato para sulfeto	2	3	3	18	Adição de inorgânicos no licor	
		Excesso de ar	Oxidação do sulfeto	4	4	3	48	Alarmes indicadores de relação ar/combustível	
		Temperatura do ar fora do padrão	Perda de carga térmica	3	2	1	6	Alarmes indicadores de temperatura de ar	
		Coleta errada realizada de maneira incorreta	Desvio na análise de eficiência de redução	4	4	5	80	Criar procedimento para coletas de amostras	
		Frascos de coleta de licor verde fora do padrão	Contaminação da amostra	4	4	5	80	Padronização de frascos de amostra	
		Agitadores Ineficientes	Homogeneização ineficiente do Licor verde	1	1	2	2	Troca do sistema de agitação do tanque dissolvedor	
		Método de alteração de produção não padronizado	Ações corretivas de processo menos eficientes	4	5	3	60	Criar procedimento para alterações de produção	
Classificação	Critério Ocorrência		Classificação	Critério Detecção					
1	Chance Remota de Falha		1	Detecção certa do modo de falha					
2	Uma vez por mês		2	Alta probabilidade de detecção do modo de falha					
3	Uma vez por semana		3	Moderada probabilidade de detecção do modo de falha					
4	Uma vez ao dia		4	Baixa probabilidade de detecção do modo de falha					
5	Várias vezes ao dia		5	Probabilidade muito remota de detecção do modo de falha					
Classificação	Critério Severidade								
1	Efeito não detectável no sistema								
2	Baixa: causando insatisfação leve no cliente								
3	Moderada: Cliente insatisfeito com perda de desempenho perceptível								
4	Alta: alta insatisfação do cliente								
5	Alta: risco potencial de segurança e problemas de não conformidade								

Fonte: Autores (2023).

A partir do Quadro 3, foram avaliados os modos de falha de acordo com ocorrência, severidade e detecção atribuindo uma pontuação para cada critério, podendo a partir desta pontuação classificar os modos de falha que causam um maior impacto no processo, sendo eles classificados de maior para menor risco respectivamente, como: coleta errada; frascos de coleta fora do padrão; método de operação despadronizado; excesso de ar; teor de químicos presentes no licor; temperatura do ar e agitadores ineficientes.

Após a análise de modo de falhas e efeito, utilizou-se a matriz de priorização para definir qual ação deveria ser tomada. A partir da análise realizada na Figura 2, foi possível definir qual a ação mais eficiente que apresentou maior resultado sendo definida a criação de procedimento para coletas de amostras, padronização dos frascos de coleta e criar procedimentos para alterações de produção sendo priorizado com relação aos demais. Seguido pela padronização de frascos de amostra, criar procedimento para alteração de produção, criar alarmes para relação de ar e temperatura, adição de inorgânicos no licor e a que deve ser evitada troca de sistema de agitação, pois, requer uma difícil aplicação e gera um baixo resultado.

Figura 2 – Matriz de Priorização Aplicação versus Impacto das Ações Corretivas



Fonte: Autores (2023).

Para aplicação do procedimento de coleta desenvolveu-se um *checklist* para o sistema de coletas de licor verde como mostra o Quadro 4.

Quadro 4 – *Checklist* de Etapas para Coleta de Licor Verde

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO		Padrão N° 1	
Local: Empresa 1		Data: *****	
Tarefa: Coleta de licor verde		Revisão: *****	
Responsável: Operadores Recuperação		N° da Revisão: 1	
Material necessário			
Frasco de coleta	1	Luva nitrílica	1
Conjunto antiácido	1	Protetor facial	1
Procedimento			
1 - Identificar a linha que está enviando licor verde.			
2 - Lavar os frascos de coleta com água desmineralizada.			
3 - Drenar o ponto de coleta por aproximadamente 1 minuto, para expulsar qualquer acúmulo de sais de sódio decantados na linha.			
4 - Coletar o licor verde no frasco padrão enchendo completamente.			
5 - Fechar e vedar o frasco.			
6 - Levar o frasco devidamente vedado e identificado para o laboratório de testes químicos.			
Observações			
Sempre identificar qual linha está enviando licor verde aa partir da sala de controle e também perguntar da estabilidade do processo.			
Remover do ponto de coleta qualquer princípio de acúmulo de sais de sódio.			
Aprovação _____ Coord. Superv.			
Elaboração: *****		Revisão: Anual	

Fonte: Autores (2023).

Durante a análise do procedimento atual de coleta foi possível perceber a diferença com que as coletas eram realizadas como alguns operadores que coletavam em qualquer frasco encontrado, coletava o licor sem antes drenar a linha e foi possível também identificar grande acúmulo de materiais, o qual foi levado ao laboratório e foi constatada a maior composição de carbonato de sódio e sulfato de sódio, que se viesse a cair dentro do frasco de amostra poderia contaminá-la e gerar um resultado fora da especificação.

Realizada a análise, identificou-se também a dificuldade com os frascos de amostras os quais estavam fora do padrão sem identificação padronizada e frágeis que fazia com que quando coletado o licor verde em alta temperatura o frasco acabava deformando gerando vazamento da amostra. Como tratativa foram substituídos os frascos por outros mais resistentes e padronizado identificações.

Outro ponto de variação do processo é a relação de ar injetado na caldeira o
 Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 24, n. 1, e-5199, 2024.

qual se torna altamente nocivo para a eficiência de redução se injetado em excesso. Para padronizar esta relação foi criada uma Tabela (Tabela 1) na qual padroniza o quanto de vazão de ar deve ser injetado em cada posição da caldeira.

Tabela 1 – Tabela Auxiliar para Distribuição de Ar/combustível

Posição	Específico	Tss/h	Distribuição de ar %	m³/h de ar
Primário	3,8	65	35	86450
Secundário	3,8	65	45	111150
Terciário	3,8	65	20	49400
Posição	Específico	Tss/h	Distribuição de ar %	m³/h de ar
Primário	3,8	60	35	79800
Secundário	3,8	60	45	102600
Terciário	3,8	60	20	45600
	Valor fixo		Valor editável	

Fonte: Autores (2023).

De acordo com a Tabela 1, a distribuição de ar pode variar com a posição, específico desejado, produção em toneladas de sólidos secos e % de distribuição de ar. Com base nas análises operacionais, notou-se que em vários casos de alteração de produção alguns operadores demoravam realizar o ajuste de ar, pois, ajustavam conforme a caldeira apresentava sinais como excesso ou falta de oxigênio. Alguns operadores acabavam esquecendo de realizar a alteração de ar e outros operadores já realizavam a alteração quando se alterava a produção com base no cálculo de distribuição de ar. Este cálculo era realizado manualmente o qual foi criado uma planilha eletrônica no *Microsoft Excel* que calcula a vazão de ar necessária somente alterando a produção atual.

Após a implantação das ações corretivas (*checklist* de verificação para realização de coletas, padronização dos frascos de coleta e criação da tabela auxiliar para cálculo de relação de ar) realizou-se um novo levantamento de dados na etapa 7 para os meses de julho e agosto.

Foram coletados 62 amostras com apenas 4 variações no período de tempo. O resultado comprova a eficácia da metodologia *Lean Six Sigma* onde de acordo com Taquetti (2017) após a utilização do método DMAIC é possível reduzir consideravelmente o número de defeitos e variação no processo. A metodologia proporcionou uma redução na variabilidade do processo. De acordo com os dados coletados, foi possível notar uma tendência de estabilidade no processo, não

havendo nenhum defeito encontrado no período de análise. Com base nestes dados, foi realizado um novo cálculo do nível *sigma* da empresa como representa a Equação 11.

$$DPMO = \frac{4 \times 10^6}{1 \times 62} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

DPMO: Defeitos Por milhão de oportunidades = 64.516,12

ND: Defeitos encontrados = 4

NO: Número de oportunidades = 1

NU: Número de Unidades = 62

Convertendo *DPMO*, o processo passou a ser nível 3 *sigmas*, apresentando uma taxa de erro de 6,68%, obtendo uma melhora na estabilidade do processo com relação ao nível *sigma* atual onde também foram calculados o *Cp* e o *Cpk* de acordo com a Equação 5 e Equação 6, para comparar a evolução após o estudo.

$$Cp = \frac{90}{6 \times 2,44} \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

CP: Capacidade Potencial do Processo = 6,14

LIE: Limite Inferior de Especificação = 90

LSE: Limite Superior de Especificação = Sem limite superior

Σ : Desvio padrão calculado a partir da amostragem de medições = 2,44

$$Cpk = \min \frac{((96,46-90);(96,46))}{3 \times 2,44} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

Cpk: Capacidade Efetiva do Processo = 0,88

LIE: Limite Inferior de Especificação = 90

LSE: Limite Superior de Especificação = Sem limite superior

Σ : Desvio padrão calculado a partir da amostragem de medições = 2,44

X: Mediana da característica medida = 96,46

Com os resultados obtidos confirma-se a teoria em que quanto maior o *Cp* e *Cpk*, menor a quantidade de produtos defeituosos. Para facilitar a compreensão, foi criada uma Tabela com os resultados encontrados antes e após o estudo, podendo ser visualizado e comparado a partir da Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação dos Resultados obtidos Antes e Depois da Realização do Estudo

Parâmetros	Antes do estudo	Após o estudo
<i>DPMO</i>	278.688,5	64.516,12
<i>Nível Sigma</i>	2	3
<i>Cp</i>	6,04	6,14
<i>Cpk</i>	0,16	0,88
% de defeitos	30,9%	6,68%

Fonte: Autores (2023).

De acordo com a Tabela 2 houve uma redução de 76% nos defeitos por milhão de oportunidades, uma redução significativa na variabilidade do processo considerando que a cada milhão de amostras o processo passa a ter 64516,12 defeitos. Com isso, o processo passa a ser nível 3 *sigmas*, demonstrando que o processo evoluiu 1 nível e passou a ser mais confiável apresentando menos variabilidade já que quanto maior o nível sigma mais estável é o processo.

Quanto ao *Cp* e *Cpk* também pode ser observado aumentos que significam que haveria menos produtos defeituosos no processo produtivo, já que quanto maior forem estes índices, menor a probabilidade da característica de qualidade medida estar fora das especificações. Porém, o resultado de *Cpk* permanece baixo o que denota que a média do processo precisa ser deslocada para alcançar evolução no nível *sigma*.

Portanto, com a aplicação do *Lean Six Sigma* pode-se obter redução nos defeitos de um processo sendo comprovado que o percentual de defeitos também foi reduzido onde antes do estudo o valor era de 30,9% de defeitos em um milhão de oportunidades, e após o estudo, o processo passou a ter 6,68% de defeitos em um milhão de oportunidades o que quer dizer que o processo passa a ter menos variações e pontos fora da meta.

Constatada a melhoria no processo após a implantação da metodologia *Lean Six Sigma*, foi implantado um *checklist* de verificação onde os desvios são anotados e justificados, a fim de, identificar possíveis causas como representa o Quadro 5.

Quadro 5 – Checklist de Justificativa de Desvios

Item	Comentários
Data do desvio	Anotar o dia, mês e ano em ocorreu o desvio.
Valor do desvio	Deve-se anotar o valor do desvio.
Produção em Tss/h	Preencher a produção da caldeira em Tss/h.
Houve alteração na produção? Qual período?	Anotar se houve alteração na produção da caldeira, se sim anotar o horário da alteração.
Horário da coleta	Registrar o horário em que foi realizada a coleta.
Sulfidez do licor em %	Anotar o percentual de sulfidez do licor verde no período de coleta.
Qual a relação de ar no período da coleta?	Deve-se anotar a relação de ar/combustível da caldeira no período da coleta.
Qual linha foi realizada a coleta?	Registrar em qual linha foi realizada a coleta de licor verde.
O checklist de coleta foi seguido?	Verificar se foram seguidos os procedimentos de coletas prescritos no checklist de coleta de licor verde.

Fonte: Autores (2023).

Com base no *checklist* representado no Quadro 5, foi possível verificar os motivos que estão levando o processo a ter desvios, podendo ser identificadas novas fontes de anomalias e garantir que as melhorias alcançadas não sejam perdidas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve por objetivo implantar a metodologia *Lean Six Sigma* para diminuir a variabilidade na eficiência de redução em uma caldeira de recuperação em uma Indústria de Celulose e Papel localizada no Paraná – PR. Para isso, utilizou-se o DMAIC para a execução das etapas do estudo. Na etapa Define utilizou-se a ferramenta SIPOC que foi importante para obter uma visão macro do processo, das etapas e dos envolvidos no processo de recuperação.

Na etapa *Measure* o processo foi acompanhado durante dois meses, em que, nos dois primeiros meses foram encontradas variações onde o processo apresentava uma taxa de defeitos de 30,9% em um milhão de oportunidades. Encontrou-se resultados com alta variação e sem tendências claras, sendo o processo classificado no nível como 2 *sigmas*. Desenvolveu-se o Diagrama de *Ishikawa* para levantar possíveis causas geradoras de desvios no processo.

Para a etapa *Analyse* utilizou-se o FMEA para classificar as causas levantadas pelo diagrama de *Ishikawa* e chegar nas causas que deveriam ser tratadas com maior urgência em conjunto utilizou-se a matriz de priorização aplicação

versus impacto na etapa *Improve* para definir as ações que deveriam ser tratadas como prioridade que foram a padronização dos frascos de coletas criar *Checklist* de verificação para o processo de realização de coletas e a tabela auxiliar no processo de alteração de relação de ar/combustível.

Estas ações foram classificadas por um grupo de especialistas da área de atuação. Realizadas análises e definidas as tratativas que foram implantadas, após as análises do processo. As melhorias do processo foram implantadas e acompanhadas, em dias que houve o fechamento bimestral dos indicadores o qual foi novamente analisado e identificado uma melhoria no processo, subindo o nível *sigma* do processo de 2 para 3 *sigmas*, reduzindo os defeitos por milhão de 278.688 para 64.516 apresentando uma redução de 76% e com uma tendência de redução no mês analisado o qual não foi encontrado defeito.

Portanto, a proposta da realização do estudo foi realizada e comprovada por meio dos dados das análises de pesquisa. O estudo foi de grande importância para a empresa, pois, conseguiu reduzir consideravelmente os desvios em seu processo, resultando em uma melhora na eficiência do equipamento e diminuição no reprocessamento.

O estudo também foi importante para auxiliar o processo de recuperação química a reduzir a variação no seu principal indicador, que é a eficiência de redução onde o processo passou de nível 2 para 3 *sigmas* o que representa uma alta redução nos defeitos por milhão de oportunidades. Constatadas as melhorias foi desenvolvido na etapa *Control* um *checklist* de verificação para manutenção dos resultados obtidos. A maior dificuldade encontrada na realização do estudo foi o levantamento de dados e a análise crítica do processo tentando identificar erros nos métodos de execução, visto que, a empresa passa por um período de renovação de mão de obra.

Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se a necessidade de um maior tempo de levantamento de dados e de análise do processo para tomadas de decisões mais assertivas, também faz necessário a implantação das melhorias que foram deixadas em segundo plano como a adição de inorgânicos no licor que seria uma tratativa de alto impacto ao processo, mas que a implantação seria de longo prazo não sendo capaz de analisá-la neste estudo. Com isso, a implantação poderá contribuir para o processo avançar do nível *Sigma*.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. M. **Detecção de situações anormais em caldeiras de recuperação química**. 2006. 236f. Tese de Doutorado (Engenharia Química). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- ALMEIDA, A. M. Modelagem, simulação e controle de um sistema de evaporação múltiplo efeito de licor negro. **Cadernos técnicos em celulose e papel**, v. 1, n. 2, p. 80-150, 2010.
- ALVES, L. L.; ROMEIRO FILHO, E.; BARROS, A. C.; SANTOS JÚNIOR, J. V. Implementação de Ferramentas de Controle da Produção em Pequenas Empresas: Estudo de Caso em uma Fábrica Moveleira. *In: XXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 16, Salvador-BA, 2013. **Anais do XXI ENEGEP 2013**.
- ALVES, D. Estudo do processo de obtenção celulose *Kraft* com ênfase no forno de cal. **Revista Liberato**, v. 16, n. 26, p. 205-218, 2015.
- ARAÚJO, B. M. M. Análise termodinâmica da gaseificação do licor negro em água supercrítica. 2022. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022.
- CALLEFI, J. S.; CRUBELLATE, J. M. O sistema *Toyota* de produção e o institucionalismo comunicativo. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 209-229, 2020.
- CHIMINELLI, C. Utilização da técnica *Seis Sigma* para redução de sobrepeso de matéria prima nos produtos em conserva. **Exacta**, v. 16, n. 1, p. 07-19, 2018.
- DIOGO, S. C. B. S. **A Modelação e previsão da performance e das propriedades do papel**. 2012. 111 f. Tese de Doutorado (Tecnologias gráficas). Instituto Superior de Educação e Ciência, Lisboa, Portugal 2012.
- FERNANDES, C. H. A.; SILVA, A. C. G. C.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, P. V. S. Aplicação da metodologia DMAIC para redução dos desperdícios em uma indústria de gesso do interior de Pernambuco, Brasil. **NAVUS Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 11, p. 01-19, 2021.
- LYNCH, D. P.; BERTOLINO, S.; CLOUTIER, E. How to scope. DMAIC projects. **Quality progress**, v. 36, n. 1, p. 37-41, 2003.
- MAST, J.; LOKKERBOL, J. An analysis of the *Six Sigma* DMAIC method from the perspective of problem solving. **International Journal of Production Economics**, v. 139, n. 2, p. 604-614, 2012.
- MOTTA, G. A.; CURSINO, G. dos S. **Impacto na produtividade e redução de variabilidade após a implementação do seis sigma na indústria de telefones celulares. Trabalho de conclusão de curso**. (Engenharia Mecânica) 2017. 41 f. Universidade de Taubaté, São Paulo, 2017.
- NAVARRO, R. M. S.; NAVARRO, F. M. S.; TAMBOURGI, E. B. Estudo de diferentes *Revista Produção Online*. Florianópolis, SC, v. 24, n. 1, e-5199, 2024.

processos de obtenção da pasta celulósica para fabricação de papel. **Revista Ciências & Tecnologia**, v1, n. 1, p. 1-5, 2007.

OHNO, T. **Toyota production system: beyond large-scale production**. Cambridge, Productivity Press, 1988.

OLIVEIRA, J. E. L. B. C. **Melhoria de indicadores de desempenho numa indústria de produção de pneus**. 2018. 104 f. Tese de Doutorado (Engenharia de Gestão Industrial). Universidade do Minho, Braga, 2018.

OLIVEIRA, T. C. T.; SILVA, A. C. G. C.; SANTOS, P. V. S.. Aplicação do Controle Estatístico de Processo: Estudo Aplicado Em Fabricante de Chapas de Gesso Drywall. **Revista De Engenharia E Pesquisa Aplicada**, v. 8, p. 59-66, 2022.

REIS, H. M. **Ciclo de recuperação química**. São Paulo: Fontenele, p. 23-172, 2021.

RIANI, A. M. **Estudo de caso: o lean manufacturing aplicado na Becton Dickinson**. Juiz de Fora, MG: UFJF. 2006. 56 f. Trabalho de conclusão de curso - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Modelo de referência para estruturar o *Seis Sigma* nas organizações. **Gestão & Produção**, v. 15, p. 43-56, 2008.

SANTOS, P. V. S.; ARAÚJO, M. A. Aplicação de ferramentas lean no setor de logística: um estudo de caso. **Revista Gestão em Análise**, v. 7, n. 2, p. 168-183, 2018.

SANTOS, P. V. S.; FERRAZ, A. de V.; CASTRO SILVA, A. C. G. Utilização da ferramenta mapeamento de fluxo de valor (MFV) para identificação de desperdícios no processo produtivo de uma empresa fabricante de gesso. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 19, n. 4, p. 1197–1230, 2019.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção**. Bookman Editora, p. 55-131, 1996.

SILVA, I. B.; MIYAKE, D. I.; BATOCCHIO, A.; AGOSTINHO, O. L. Integrando a promoção das metodologias *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* na busca de produtividade e qualidade numa empresa fabricante de autopeças. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 18, n. 4, p. 687-704, 2011.

SILVA, R. M. da. **Estudo de aumento de eficiência e produção de uma caldeira de recuperação química**. 2016. 59 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2016.

SOARES, M.; AMARANTE, M. Metodologia *Lean Seis Sigma* como método para melhorar a produção e reduzir custos. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 8, n. 1, p. 75-96, 2022.

SOUZA, M. H. B. **Six Sigma Application in Order to Reduce Fuel Oil Demand in the Lime Kiln of a Kraft Pulp Mill**. 2013. 53 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade da madeira; Tecnologia de celulose e papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SOUZA, B. C. Implantação do programa 5S através da metodologia DMAIC. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 5, p. 2163-2179, 2018.

TAQUETTI, L. B. Aplicação da integração *Lean Six Sigma* para melhoria da produtividade em uma linha de montagem. **Journal of Lean Systems**, v. 2, n. 4, p. 42-61, 2017.

TJAHJONO, B. *Six Sigma*: a literature review. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 3, p. 216-233, 2010.

VENANZI, D.; LAPORTA, B. P. *Lean Six Sigma*. **South American Development Society Journal**, v. 1, n. 2, p. 66-84, 2017.

VENTURINI, S. F. O impacto das interrupções em uma empresa de ti análise dos 7 desperdícios. **Cippus**, v. 7, n. 1, p. 11-23, 2019.

WIDODO, A.; SOEDIANTONO, D. Benefits of the *Six Sigma* Method (DMAIC) and Implementation Suggestion in the Defense Industry: A Literature Review. **International Journal of Social and Management Studies**, v. 3, n. 3, p. 1-12, 2022.

AUTORES

Gabriel Kum de Oliveira

Bacharel em Engenharia de Produção (UNIFATEB, Telêmaco Borba - PR). Especialidade do autor: Gestão da Produção e Produção Enxuta.

Vitor Hugo dos Santos Filho

Doutorando em Engenharia de Produção (UTFPR, Ponta Grossa - PR). Especialidade do autor: Modelagem e Simulação Computacional, Redes de Empresas, Gestão da Qualidade e Indústria 4.0.

Pedro Vieira Souza Santos

Mestre em Engenharia de Produção (UFPE, Caruaru - PE). Especialidade do autor: Gestão da Produção e Produção Enxuta.



Artigo recebido em: 19/02/2024 e aceito para publicação em: 07/05/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i1.5199>