



# ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01  
de dezembro 2023

## **Análise da redução do *lead time* em uma empresa fabricante de equipamentos do setor sucroenergético**

**José Antonio Travessa Neto**

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de São Carlos

**Dr. Muris Lage Junior**

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de São Carlos

**Dr. Manoel Fernando Martins**

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de São Carlos

**Resumo:** Cada vez mais o mercado torna-se um ambiente altamente competitivo entre as empresas. Ao longo do tempo, diversas transformações relacionadas às novas filosofias surgiram, como é o caso do Lean, do Seis Sigma e, mais recentemente, do Lean Seis Sigma. Uma de suas ferramentas é o DMAIC, método estruturado de resolução de problemas bastante utilizado na melhoria da qualidade e de processos. Esse estudo teve como objetivo a aplicação do método DMAIC em uma empresa fabricante de equipamentos e a posterior verificação do seu resultado no *lead time*. Para isso, primeiramente foram definidos quais seriam esses produtos. Foi possível medir o tempo de atravessamento desses produtos a partir de dados históricos. Depois, foram identificadas as principais causas que impactam nesse indicador. Soluções foram discutidas e ações foram planejadas e executadas. Após a implantação de algumas melhorias, mediu-se novamente o *lead time* nos dois anos seguintes. Foi constatada uma redução no desempenho médio e na variabilidade do *lead time*.

**Palavras-chave:** *Lead Time*, DMAIC, Melhoria de Processo

## **Analysis of lead time reduction in a company manufacturing equipment in the sugarcane-energy sector**

**Abstract:** Every day, the market becomes an increasingly competitive environment for companies. Over time, various transformations related to new philosophies have emerged, such as Lean, Six Sigma, and more recently, Lean Six Sigma. One of its tools is DMAIC, a structured problem-solving method widely used in quality and process improvement. This study aimed to apply the DMAIC method in a manufacturing company and subsequently assess its impact on lead time. To accomplish this, the first step was to define which products would be considered. It was possible to measure the throughput time for these products using historical data. Next, the primary factors influencing this indicator were identified. Solutions were discussed, and actions were planned and executed. After the implementation of several improvements, lead time was measured again in the two subsequent years. A reduction in both average performance and lead time variability was observed.

**Keywords:** Lead Time, DMAIC, Process Improvement

## 1. Introdução

Manter-se competitiva em um mercado cada vez mais globalizado não é tarefa fácil para as organizações. Para obter o sucesso de sobreviver ou até mesmo crescer no cenário atual, as empresas precisam estar sempre atentas às novas estratégias para atender as necessidades de clientes cada vez mais exigentes.

Essa necessidade refletiu em mudanças em empresas no mundo todo e pôde ser observada a partir da metade do século XX. Dois grandes grupos de mudanças foram marcantes nesse período: o desenvolvimento tecnológico (máquinas, informações, automação, robótica etc.) e as transformações relacionadas às novas filosofias, conceitos e métodos de gestão de recursos humanos (CLETO, 2002).

Um exemplo clássico de transformação relacionada a novos conceitos é o Sistema Toyota de Produção. Por meio de várias ferramentas, técnicas e, principalmente, uma filosofia de produção, a Toyota não só conseguiu vencer seu desafio de sobreviver, como também utilizou da sua excelência operacional para criar uma arma estratégica para crescer (LIKER, 2005).

Mais tarde foi a vez da Motorola, que apresentou ao mundo o Seis Sigma, um novo conceito responsável por desempenhar um papel importante na reviravolta que a empresa obteve em sua qualidade (SNEE, 2010).

Na última década, foram justamente essas duas abordagens principais que guiaram a melhoria de qualidade. O desenvolvimento lean, que visa melhorar a eficiência do processo ao eliminar etapas e atividades que não agregam valor. E o Six Sigma, que inibe a variação do processo ao atuar para trazer todo processo em torno da média (YADAV; DESAI, 2016).

Não demorou muito tempo para ambas as abordagens serem adotadas em conjunto pelas empresas. O Lean Six Sigma, como ficou conhecido, pode ser descrito como um método que busca a eliminação de desperdícios e da variação, seguindo a estrutura DMAIC, para alcançar a satisfação dos clientes em relação a qualidade, entrega e custo (SALAH; RAHIM; CARRETERO, 2010).

Se originalmente o DMAIC era descrito como um método de redução de variação, atualmente é aplicado na prática como uma abordagem de resolução de problemas e também de melhorias (MAST; LOKKERBOL, 2012).

O objetivo desse trabalho é aplicar uma rodada do método DMAIC no processo produtivo de uma empresa fabricante de moendas de cana e verificar se haverá redução no *lead time* dos seus principais produtos.

## 2. Referencial teórico

### 2.1. Filosofia Lean

Há mais de 30 anos, em setembro de 1988, John Krafcik publica um artigo com o título “The Triumph of the Lean Production System”. Nele, o termo “lean” (“enxuto”) aparece pela primeira vez para descrever o sistema de produção e gestão surgido no Japão e que vinha obtendo um desempenho superior à produção em massa. “Enxuto”, pois esse sistema usa menos recursos se comparado com a produção em massa – menor esforço humano, menos espaço na fábrica, menor investimento de capital, menos defeitos, menor tempo gasto, menos estoque, entre outros (WOMACK; KRAFCIK, 2013).

Um pouco mais tarde, em 1990, James Womack, Daniel Jones e Daniel Roos lançam “A máquina que mudou o mundo” e colaboram na difusão da Produção Enxuta no ocidente. Esse clássico foi o primeiro livro a descrever de forma detalhada o sistema desenvolvido

na Toyota e mostrar as vantagens em relação à produção em massa, evidenciando a diferença do desempenho da indústria automotiva japonesa, em comparação com a indústria automotiva ocidental (LIKER, 2005).

Desde então, inúmeros estudos e definições foram surgindo sobre a Produção Enxuta, ou Sistema Toyota de Produção (STP), como também é conhecida.

Para Ghinato (2000, p. 1), a produção enxuta pode ser definida da seguinte maneira:

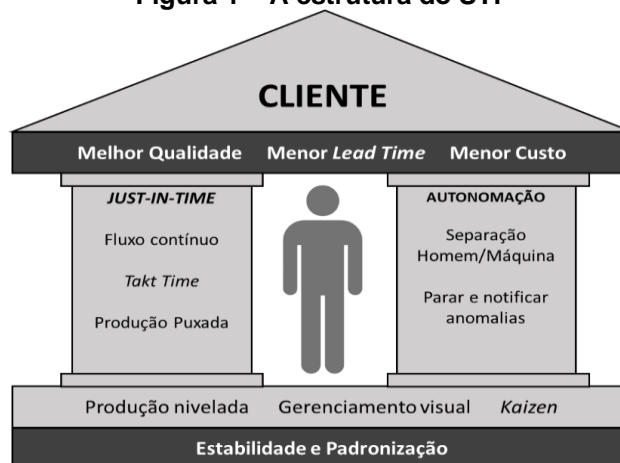
É uma filosofia de gerenciamento que procura otimizar a organização de forma a atender as necessidades do cliente no menor prazo possível, na mais alta qualidade e ao mais baixo custo, ao mesmo tempo em que aumenta a segurança e o moral de seus colaboradores, envolvendo e integrando não só manufatura, mas todas as partes da organização.

A própria empresa desenvolvedora do STP o descreve como sendo um sistema de produção que é mergulhado na filosofia da 'eliminação completa de todos os desperdícios' inspirando todas as partes da produção na busca dos métodos mais eficientes (TOYOTA, 2022).

Na literatura, o Sistema Toyota de Produção é muitas vezes representado como uma "casa". A analogia baseia-se no fato que uma casa só é forte se todos os componentes dela também forem fortes: pilares, telhado e o alicerce. Se a conexão entre os componentes for fraca, o sistema todo é fragilizado (LIKER, 2005).

Na Figura 1, o just-in-time e a autonomia são representados pelos pilares da estrutura. Esses dois pilares sustentam as metas de melhor qualidade, menor custo e menor lead time, sendo estes representados pelo telhado. A produção nivelada, conhecida também como heijunka, o gerenciamento visual, a melhoria contínua, os processos estáveis e padronizados são, portanto, o alicerce do sistema (GHINATO, 2000; LIKER, 2005; MARCHWINSKI et al., 2003).

Figura 1 – A estrutura do STP



Fonte: Adaptado de Ghinatto (2000) e Liker (2005)

## 2.2 Lean Six Sigma (LSS)

Em 1987, o Six Sigma foi lançado pela Motorola e foi a razão do sucesso da empresa nos anos seguintes. Para Snee (2010), o Six Sigma é uma estratégia de melhoria de negócios que busca identificar e eliminar as causas de defeitos ou erros nos processos ao concentrar em atividades que são relevantes para os clientes. Drohomeretski et al. (2014) destaca que os principais fatores de sucesso na implementação do Seis Sigma estão relacionados ao comprometimento da alta administração e ao treinamento de ferramentas estatísticas.

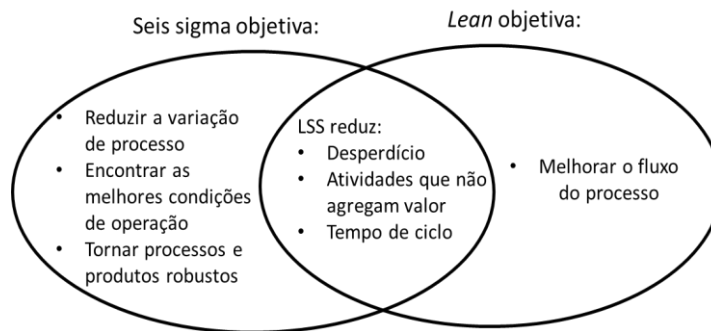
Atualmente, o Seis Sigma tem sido integrado à filosofia Lean, o que ficou conhecido como Lean Six Sigma (LSS). Snee (2010) define o LSS como uma estratégia de negócio e, ao

mesmo tempo, como um método para aprimorar o desempenho dos processos, resultando em aumento na satisfação dos clientes e resultados.

Como ambas as abordagens têm foco em processos, Montgomery (2008) observa que as ferramentas do Six Sigma e Lean podem ser utilizadas simultânea e harmoniosamente em uma organização para obter altos níveis de desempenho de processo e melhoria nos seus negócios.

Snee (2010) reforça esse alinhamento ao destacar os objetivos do Lean e do Seis Sigma e os benefícios que estas geram em conjunto (Figura 2).

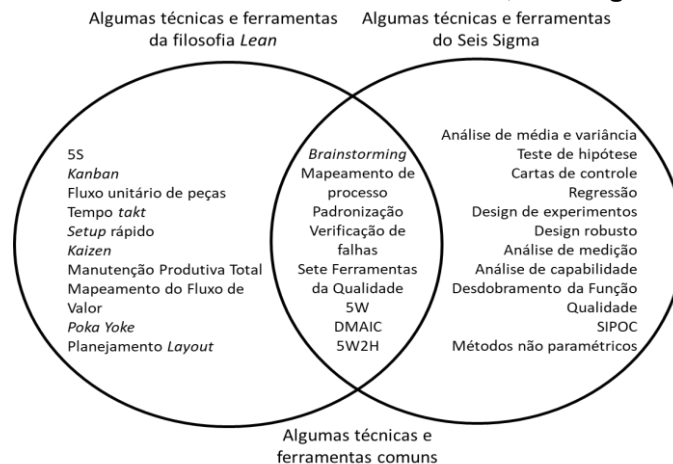
**Figura 2 – Objetivos do LSS**



Fonte: Adaptado de Snee (2010)

Outra forma de verificar o relacionamento entre essas estratégias é a comparação entre as ferramentas empregadas e que frequentemente são citadas na literatura. Reis et al. (2021) elaborou a Figura 3 que associa essas ferramentas ao Lean e ao Seis Sigma, além de evidenciar algumas que são comuns às duas abordagens.

**Figura 3 – Ferramentas associadas ao Lean, Seis Sigma e LSS**



Fonte: Adaptado de Reis et al. (2021)

Conforme ilustrado na Figura 3, algumas práticas estão presentes em ambas as filosofias, como é o caso do brainstorming, mapeamento de processo, padronização, verificação de falhas, sete ferramentas da qualidade, 5W2H e DMAIC. Essa última será detalhada no próximo tópico.

### 3. Procedimentos metodológicos

Para Martins (2012), antes mesmo de definir o método de pesquisa, deve-se determinar a abordagem da pesquisa, que pode ser qualitativa ou quantitativa. Ao descrever a abordagem qualitativa, é relatado que sua “característica distintiva, em contraste com a pesquisa quantitativa, é a ênfase na perspectiva do indivíduo que está sendo estudado” (MARTINS, 2012, p. 52).

Pode-se aliar a abordagem qualitativa a esse estudo, pois, segundo Martins (2012), nesse tipo de abordagem o pesquisador visita a organização estudada, a fim de fazer observações para coletar evidências de um determinado fenômeno.

Martins (2012) ainda cita que na área da Engenharia de Produção dois métodos de pesquisa são mais apropriados dentro da abordagem qualitativa: estudo de caso e pesquisa-ação. O que os diferencia é o envolvimento do pesquisador com a organização estudada e a existência de ações visando mudanças.

Para esse estudo, acredita-se que o método mais adequado é a pesquisa-ação. Thiollent (1986, p. 14) define a pesquisa-ação como

um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Essa pesquisa-ação está estruturada seguindo as mesmas etapas do DMAIC.

### **3.1 DMAIC**

O DMAIC é um procedimento estruturado de resolução de problemas bastante utilizado na melhoria da qualidade e de processos. A estrutura DMAIC incentiva o pensamento criativo no entendimento do problema e na sua solução. Uma das razões para ter se tornado bem-sucedido é o foco no uso eficaz de um conjunto relativamente pequeno de ferramentas (MONTGOMERY, 2008).

As letras DMAIC formam o acrônimo para as cinco fases desse método, representadas pelas palavras em inglês: Define, Measure, Analyze, Improve e Control. Essas fases são descritas a com base em Montgomery (2008):

- a) Definir: nessa primeira etapa, identifica-se a oportunidade do projeto e verifica-se se ela apresenta um potencial de avanço, visto que um projeto deve ser importante para os clientes e importante para os negócios;
- b) Medir: essa etapa consiste em avaliar e entender a situação atual. Para isso é preciso coletar dados sobre medidas da qualidade, custo, produtividade/tempo de ciclo. É importante definir e medir as variáveis presentes no processo;
- c) Analisar: o objetivo é usar os dados obtidos na etapa anterior para começar a determinar as relações de causa e efeito no processo e entender as fontes de variabilidade. As fontes de variabilidade podem ser separadas em causas comuns e causas atribuíveis;
- d) Melhorar: nessa etapa, o pensamento criativo é estimulado a fim de buscar mudanças que tragam o impacto desejado no desempenho do processo. Muitas vezes testa-se uma solução piloto, que pode ser refinada, revisada e melhorada várias vezes até atingir o resultado esperado.
- e) Controlar: o objetivo dessa etapa é entregar o processo melhorado ao proprietário do processo, juntamente com um sistema de monitoramento da solução e outros procedimentos necessários para garantir que os ganhos obtidos sejam institucionalizados.

## **4. Resultados e Discussão**

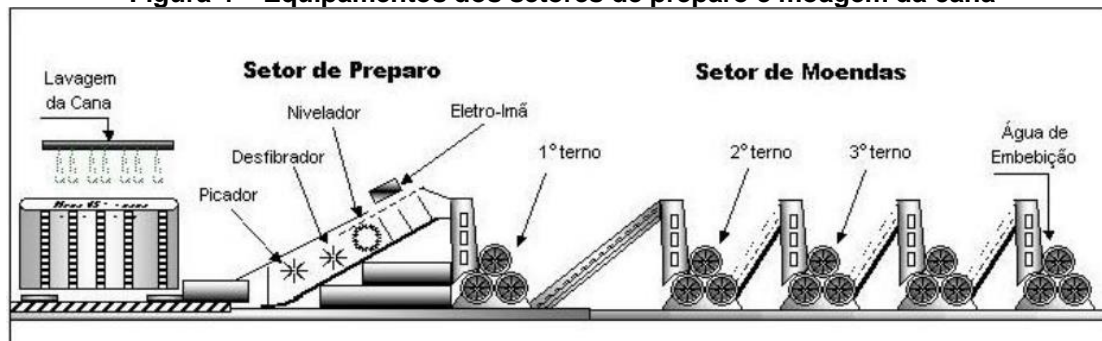
O presente estudo foi realizado em uma empresa fabricante e prestadora de serviço de manutenção de equipamentos para usinas sucroenergéticas.

A demanda por esses produtos e serviços é sazonal e acontece geralmente nos três últimos e nos três primeiros meses do ano, podendo variar ano a ano. Esse período é conhecido como a entressafra da cana, estendendo entre o fim de uma safra e início da uma nova lavoura. É durante ela que as usinas sucroenergéticas realizaram uma série de manutenções nos equipamentos de suas plantas.



No catálogo da empresa, constam equipamentos que fazem parte das etapas iniciais do processo produtivo tanto do açúcar quanto do etanol. Essas etapas são: o preparo da cana, que incluem equipamentos como picadores, desfibradores e niveladores; e extração do caldo, que incluem os ternos de moagem. A Figura 4 ilustra a localização desses equipamentos no processo.

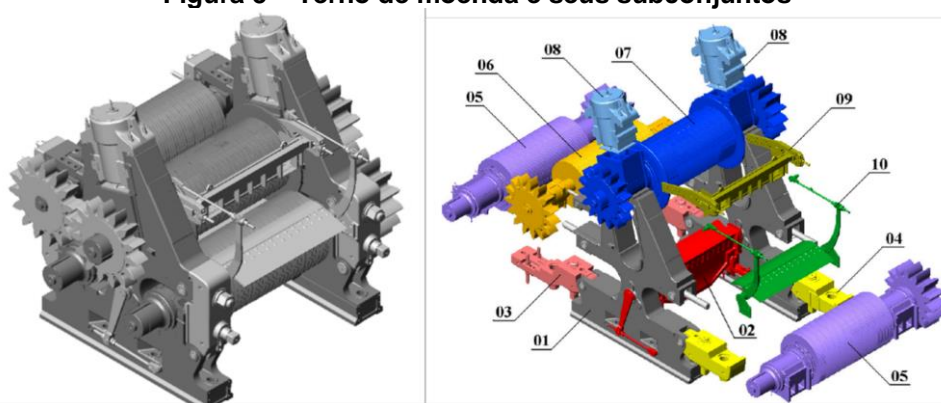
**Figura 4 – Equipamentos dos setores de preparo e moagem da cana**



Fonte: Lima e Ferraresi (2006)

Cada um dos ternos de moenda é dividido em conjuntos, como pode ser visto na Figura 5. Esses conjuntos são: 1) castelo; 2) sistema de regulagem da bagaceira; 3) cabeçotes laterais de entrada; 4) cabeçotes laterais de saída; 5) rolos inferiores; 6) rolo de pressão; 7) rolo superior; 8) cabeçotes hidráulicos; 9) pente superior; 10) pente inferior.

**Figura 5 – Terno de moenda e seus subconjuntos**



Fonte: Caltarosso (2008)

#### 4.1 Definir

Os produtos escolhidos para serem estudados nesse trabalho foram os rolos inferiores, superiores e de pressão, visto que representam a maior parcela do faturamento anual da empresa. O rolo de moenda é ilustrado na Figura 5 pelos itens 5, 6 e 7.

Os rolos são retirados do castelo (ver Figura 5) pela própria usina em sua planta e são enviados à empresa estudada para ser realizada a manutenção e/ou substituição dos componentes desse equipamento. Essas duas soluções apresentadas são sugeridas para as seguintes situações:

- manutenção dos componentes do rolo: quando essas peças têm condições de serem usinadas e qualidade suficiente para usadas em pelo menos mais uma safra;
- fornecimento de um ou mais componentes novos: quando essas peças tiveram alto desgaste durante a safra, comprometendo sua qualidade, sendo inviável tecnicamente a sua reforma.

A decisão final pela manutenção ou substituição dos componentes é do cliente, mas orientada com base nas inspeções de qualidade realizadas pela empresa fornecedora.

O prazo de entrega dos pedidos é acordado individualmente com cada cliente. Entretanto, um comportamento geral do mercado vem sendo notado com mais frequência nos últimos anos: uma exigência por prazos cada vez menores.

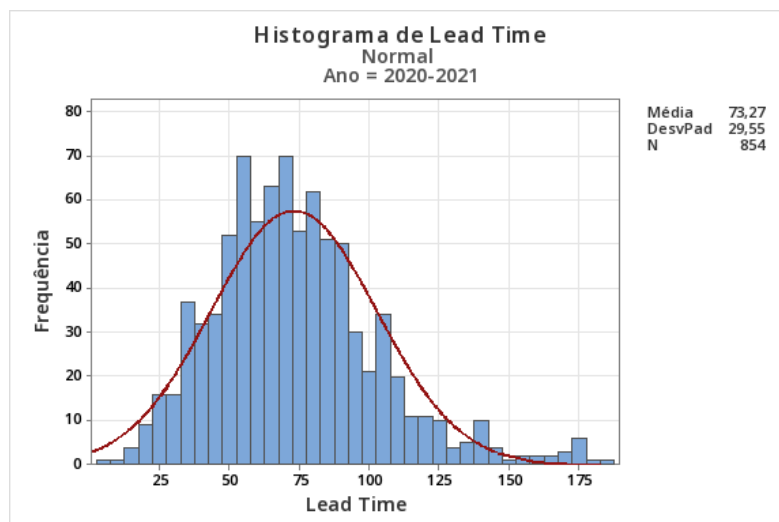
O problema abordado nesse trabalho diz respeito ao alto *lead time* de fabricação e manutenção dos rolos de moenda, o que pode resultar em atrasos no fornecimento desses equipamentos aos clientes.

## 4.2 Medir

Para uma melhor compreensão da situação atual, mapeou-se as etapas do processo e buscou-se levantar dados históricos a respeito do lead time dos produtos selecionados. Os dados foram coletados com base nos registros do setor de Expedição da empresa, visto que reúnem as informações fundamentais para esse estudo, como a data de chegada e a data de saída de peças na empresa, além do tipo do serviço prestado. O intervalo de datas considerado para realizar essa medição foi de 01/10/20 a 31/03/21, período sazonal conhecido como a entressafra, conforme citado anteriormente. Sendo assim, o histórico considerado foi de 854 rolos.

Utilizou-se da estatística descritiva para sumarizar os dados levantados. A Figura 6 apresenta o histograma com a distribuição de frequências, além da média e do desvio padrão da amostra.

**Figura 6 – Histograma com a distribuição do *Lead Time* (Ano 20/21)**



**Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software Minitab® 17 (2023)**

A média observada foi de 73,27 dias e o desvio padrão foi de 29,55 dias.

## 4.3 Analisar

Após a fase de medição, a equipe do projeto se reuniu e utilizou-se do mapeamento do processo e dos dados obtidos para realizar um *brainstorming*, com o intuito de identificar as principais causas do desempenho atual do lead time.

Verificou-se que layout atual não estava adequado para um ambiente que necessite de resposta rápida. As máquinas estão agrupadas por funcionalidade em diferentes barracões, criando setores independentes e desconectados, fazendo com que o produto se movimente em excesso, exigindo um esforço muito alto de logística, devido ao alto peso dos produtos.

Outro problema identificado foi o processo de comunicação entre a produção e a logística. Essa comunicação acontece quando o responsável por cada setor produtivo identifica a falta de peças para processos ou o acúmulo de peças processadas no seu setor, precisando entrar em contato com um dos operadores da logística para fazer o

reabastecimento ou retirada delas. Foi relatado que esse processo atualmente é falho, o que gera demora no transporte de peças entre os barracões da produção.

A ausência de metas e indicadores de produção também se mostrou um problema para a empresa, visto que a gerência muitas vezes não consegue enxergar o que está acontecendo no chão de fábrica, dificultando a tomada de decisão rápida para corrigir os desvios que possam surgir.

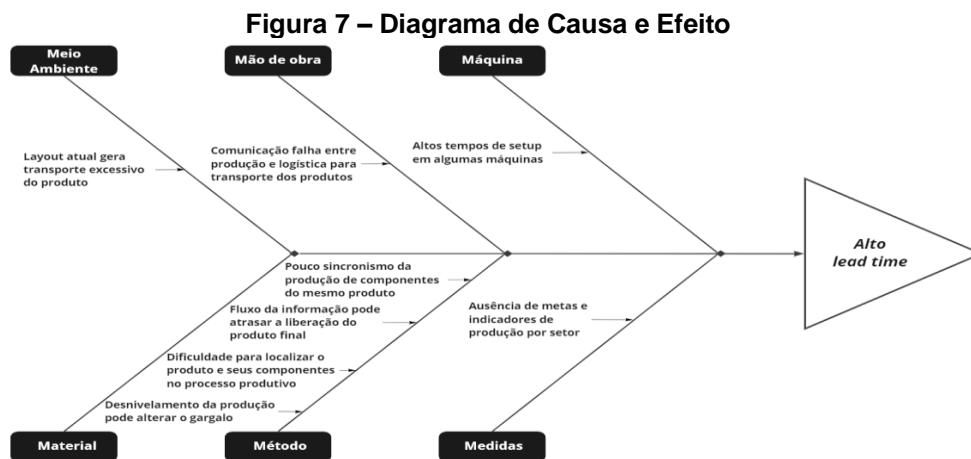
Outro ponto discutido foi o baixo sincronismo na produção de componentes do mesmo produto. O rolo de moenda possui diversos componentes que precisam estar prontos para ser feita a montagem final. Uma das fontes desse problema é a falha na alimentação e atualização de dados no *software* APS da empresa, fazendo com que componentes fiquem prontos antes da data necessária, enquanto outros casos fiquem prontos com atraso. A outra fonte desse problema é que atualmente o setor de Engenharia de Produto fica responsável pela negociação e sequenciamento do recebimento de peças dos clientes e das peças que precisam de serviço externo de fornecedores. Essa prática dificulta o sequenciamento da produção interna por parte do setor de Planejamento.

Entre algumas etapas do processo produtivo e após a finalização da última etapa, o produto aguarda a inspeção de qualidade e também o parecer do Planejamento e da Engenharia do Produto para seguir em frente. Alguns produtos foram monitorados e observou-se que esse fluxo administrativo pode demorar até dias para ser atravessado.

Outra questão relatada foi a dificuldade de localização dos produtos e seus componentes durante o processo produtivo, isso muitas vezes gera desperdícios de movimentação de pessoas e de tempo na busca dessas peças. Quando ocorre a perda de um item, o impacto é até mais grave, visto que será necessário produzir um item novo, resultando em custos desnecessários e provavelmente em prazo não atendido.

O desnivelamento da produção também se mostrou como um problema. Sabe-se que a etapa mais demorada do processo produtivo é a solda, entretanto não são todos os produtos que passarão por essa etapa na empresa, visto que alguns clientes preferem realizar esse tipo de serviço por conta própria. Sendo assim, a empresa deve planejar sua produção para ter sempre a mesma quantidade de peças que passarão ou não pela solda. Quando esse planejamento não é cumprido, ocorre duas situações: o setor de solda fica muito ocioso ou o setor de solda se torna gargalo, assumindo o lugar da usinagem. Isso afeta negativamente a entrega de produtos no prazo.

As causas discutidas foram inseridas no diagrama de causa e efeito, como pode ser observado na Figura 7.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)



#### 4.4 Melhorar

Após a etapa de análise, a equipe de projetos se reuniu novamente para discutir ações para mitigar as causas e reduzir o lead time dos rolos de moenda.

Foi elaborado um plano de ação detalhado 5W1H que ficou em posse da empresa. Algumas ações listadas foram:

- Criar pontos de estoques intermediários na fábrica para facilitar a localização dos produtos;
- Tornar o setor de logística responsável por administrar o abastecimento e a retirada de peças dos setores produtivos, criando rotas e horários fixos de transporte, a fim de eliminar a necessidade de solicitações do setor produtivo para o setor de logística;
- Criar, divulgar e monitorar indicadores da produção para incentivar o nível operacional, tático e estratégico a realizar o gerenciamento baseado em dados e facilitar a tomada de decisões;
- Atuar na programação e no sequenciamento da produção para melhorar o sincronismo da chegada das peças no setor de montagem e evitar alterações no gargalo devido ao desnivelamento da produção;
- Tornar o setor de Planejamento responsável pelo controle de datas e pelo monitoramento de recebimento de peças dos clientes e pelas peças que exigem serviço externo em fornecedores;
- Aprimorar o fluxo de informação da empresa para reduzir o tempo de espera e o atravessamento da informação;
- Aplicar conceitos de Troca Rápida de Ferramenta (SMED) para redução de setup para aumentar a disponibilidade do gargalo;
- Alterar a localização das máquinas de usinagem para mais próximo do setor de solda, montagem e expedição com o intuito de reduzir o desperdício de transporte durante a produção.

Como esse projeto iniciou-se em junho de 2021, havia poucos meses para planejar e executar todas as ações antes da chegada da demanda do final do ano. Dessa forma, apesar de listadas algumas soluções, priorizaram-se as três primeiras ações, para gerar resultados mais rápidos, deixando as soluções que exigissem mais tempo e recursos para o ano seguinte.

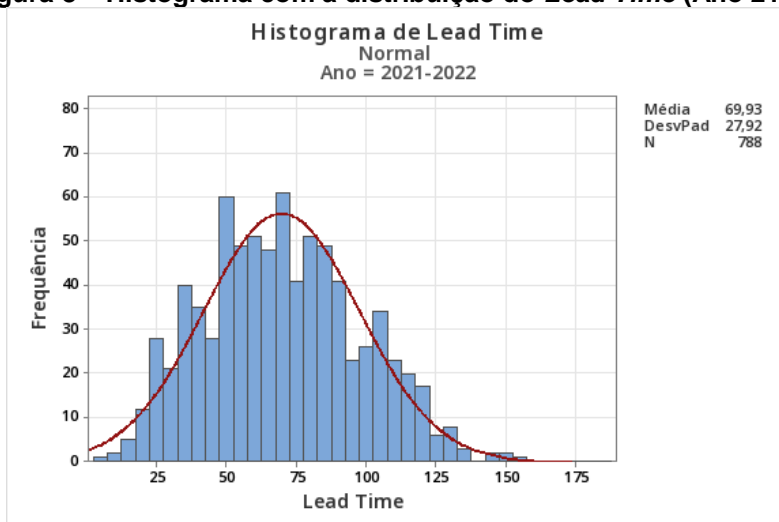
Para acompanhar a execução do plano de ação e evitar atrasos indesejáveis, realizaram-se reuniões semanais em que os responsáveis informavam o andamento das ações, relatavam possíveis impedimentos e buscavam maneiras de contornar essas situações.

#### 4.5 Controlar

Após implantar algumas das soluções propostas, foi monitorado o *lead time* dos produtos recebidos e finalizados no intervalo entre 01/10/21 e 31/03/22, a fim de levantar dados para poder comparar o desempenho obtido nesse período com o desempenho do ano anterior. O conjunto de dados analisado foi de 788 rolos.

Assim como feito na etapa de medição, utilizou-se da estatística descritiva para sumarizar os dados levantados. A Figura 8 apresenta o histograma com a distribuição de frequências, além da média e do desvio padrão da amostra.

**Figura 8 – Histograma com a distribuição do *Lead Time* (Ano 21/22)**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software Minitab® 17 (2023)

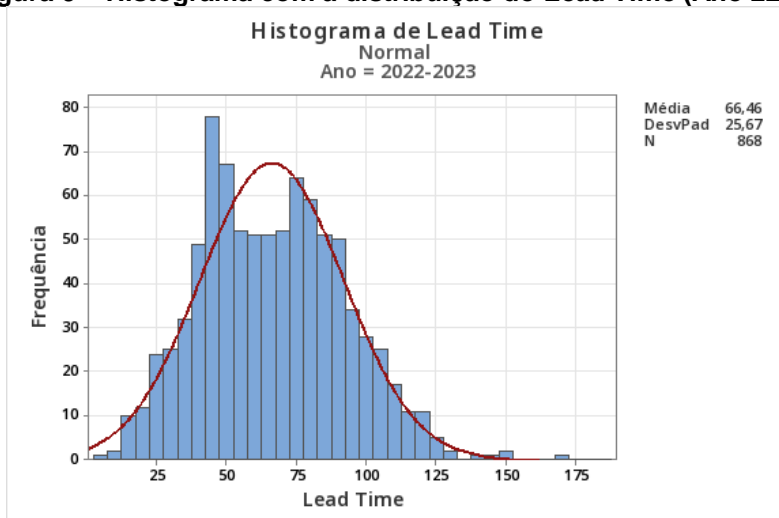
Ao comparar com a entressafra anterior, nota-se que houve uma redução da média do *lead time* para 69,93 dias e o desvio padrão para 27,92 dias.

#### 4.6 Novo ciclo

Finalizada e evidenciada essa melhoria nesse indicador, decidiu-se continuar atuando nas ações propostas. Primeiro, a fim de garantir que as três melhorias realizadas se consolidassem, foi realizada a padronização das mudanças e elaborado treinamento para os envolvidos. O intuito é realizar, de tempos em tempos, a atualização dos padrões e a reciclagem dos treinamentos, de modo a buscar sempre a melhoria contínua. Em seguida, mudou-se o foco para o setor de Planejamento da empresa e, com isso, as duas ações seguintes listadas na seção 4.4 foram trabalhadas durante o ano de 2022, de modo a preparar a empresa para a entressafra de 2022-2023.

Assim como feito anteriormente, contabilizou-se o *lead time* dos produtos recebidos e finalizados no intervalo entre 01/10/22 e 31/03/23, a fim de levantar dados para poder comparar o desempenho com os anos anteriores. O conjunto de dados analisado foi de 868 rolos. A Figura 9 apresenta o histograma com a distribuição de frequências, além da média e do desvio padrão da amostra.

**Figura 9 – Histograma com a distribuição do *Lead Time* (Ano 22/23)**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software Minitab® 17 (2023)

Ao comparar com os anos anteriores, observa-se uma nova redução na média e no desvio padrão do *lead time*, chegando a, respectivamente, 66,46 dias e 25,67 dias.

## 4.7 Resumo dos resultados

A fim de deixar claro o comportamento do *lead time* ao longo desses 3 anos, foi elaborada uma tabela comparativa e um histograma sobreposto.

Na tabela 1, além dos resultados já apresentados, foram acrescentadas as variações da média e do desvio padrão.

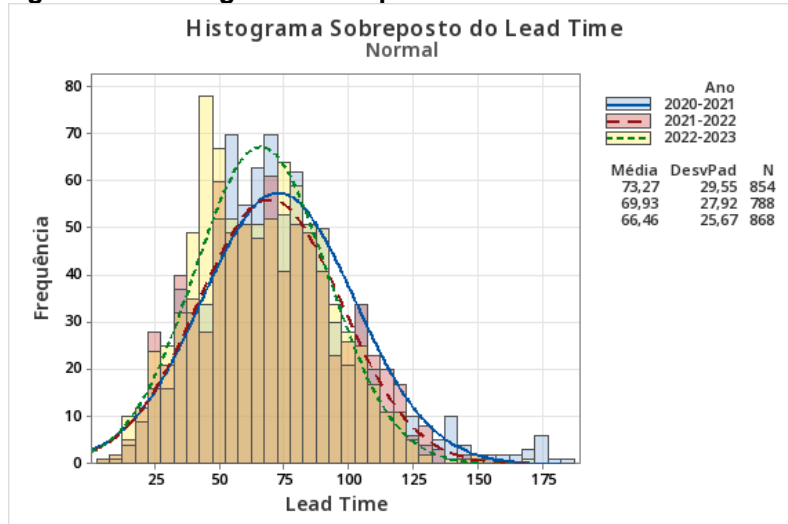
**Tabela 1 – Tabela comparativa dos resultados**

Ano	População (N)	Lead Time (LT) médio	Varição do LT em relação a 20-21	Desvio Padrão (DP)	Varição do DP em relação a 20-21
2020-2021	854	73,27	-	29,55	-
2021-2022	788	69,93	-3,34 (-4,5%)	27,92	-1,63 (-5,5%)
2022-2023	868	66,46	-6,81 (-9,3%)	25,67	-3,88 (-13,1%)

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Já o histograma sobreposto (Figura 10) mostra, de maneira gráfica, o comportamento do *lead time*.

**Figura 10 – Histograma sobreposto com o lead time dos 3 anos**



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Note que houve um deslocamento suave (redução da média) e a curva ficou mais concentrada em relação à média (redução do desvio padrão).

Dessa forma, fica evidente que as ações tomadas trouxeram resultados positivos para o indicador do *lead time* e, conseqüentemente, para a empresa.

## 5. Conclusões

O presente trabalho foi desenvolvido em uma empresa fabricante de equipamentos de usinas sucroenergéticas e teve como principal objetivo a aplicação do método DMAIC, focando na redução do *lead time* dos pedidos de rolos de moendas.

O DMAIC mostrou-se como um ótimo método orientado a dados para ser utilizado no desenvolvimento de melhorias em um fluxo de produção. Os resultados obtidos reforçam essa afirmação, visto que após a aplicação desse ciclo, observou-se uma redução no *lead time* na entrega dos pedidos.

Como sugestão de próximo estudo, sugere-se elaborar cartas de controle para monitorar o *lead time* em curtos períodos de tempo, e, assim, tomar as devidas ações caso seja notado que está havendo alterações na variabilidade desses valores.

## Referências

- CALTAROSSO, F. **Análise de Tensões em Equipamentos de Moagem da Cana-de-Açúcar usando o Método dos Elementos Finitos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo. São Carlos. 204p. 2008. Disponível em: < <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18145/tde-17012011-144324/pt-br.php>>. Acesso em: 05 fev. 2022.
- CLETO, M. G. A. A Gestão da Produção nos Últimos 45 Anos: Transformações econômicas e avanços tecnológicos determinam o desenvolvimento das novas formas de gestão da produção. **Revista FAE Business**, Curitiba, PR, n. 4, dez. 2002. Disponível em: <<https://img.fae.edu/galeria/getImage/1/16578659402524246.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2022.
- DROHOMERETSKI, E. *et al.* Lean, six sigma and lean six sigma: An analysis based on operations strategy. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 3, p. 804–824, 2014.
- GHINATO, P. Publicado como 2º. Capítulo do Livro **Produção & competitividade: aplicações e inovações**. Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza Recife: UFPE, 2000.
- LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2005.
- LIMA, A. C.; FERRARESI, V. A. Desgaste em equipamentos de processamento da can-de-açúcar em destilaria de álcool. In: POSMEC Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 16., 2006, Uberlândia. **Anais eletrônicos** [...] Uberlândia: UFU, 2021. Disponível em: < <http://web.posfemec.org/posmec/16/PDF/PM16-0092.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2022.
- MARCHWINSKI, C. *et al.* **Léxico Lean: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003. ISBN 0974182400.
- MARTINS, R. A. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 47-63.
- MAST, J. D.; 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.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. John Wiley & Sons, 2008.
- REIS, G. D. *et al.* Controle do processo de logística externa de uma fábrica de pulverizadores por meio da aplicação de ferramentas lean seis sigma. In: ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 41., 2021, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos** [...] Foz do Iguaçu: Abepro, 2021. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_354\\_1820\\_42260.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_354_1820_42260.pdf)>. Acesso em: 04 fev. 2022.
- SALAH, S.; RAHIM, A.; CARRETERO, J. A. The integration of Six Sigma and lean management. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 3, p. 249–274, 2010.
- SNEE, R. D. Lean Six Sigma – getting better all the time. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 1, p. 9–29, 2010.
- THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. São Paulo: Cortez: Autores Associados, 1986.
- TOYOTA. **Toyota Production System**. 2022. Disponível em: <<https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/>>. Acesso em: 02 fev. 2022.
- TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Pesquisa-ação na Engenharia de Produção. In: MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 149-167.
- WOMACK, J. P.; KRAFCIK, J. F. **Vinte e cinco anos de lean**. 2013. Disponível em: < <http://www.lean.org.br/artigos/248/vinte-e-cinco-anos-de-lean.aspx>>. Acesso em: 02 fev. 2022.
- YADAV, G.; DESAI, T. N. Lean Six Sigma: a categorized review of the literature. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 7, n. 1, p. 2–24, 2016.