



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2024) v. 11, n. 1, pp. 24–36  
<https://doi.org/10.21712/lajer.2024.v11.n1.p24-36>

## **Proposta de melhoria no processo produtivo de revestimentos cerâmicos aplicando o método DMAIC**

### *Proposal for process improvement in the ceramic coating process applying DMAIC method*

Túlio Oliveira Araújo<sup>1</sup>, Taisa Shimosakai de Lira<sup>2</sup>, Thiago Padovani Xavier<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Aluno do curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, campus São Mateus, ES, Brasil

<sup>2,3</sup> Professor do Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, campus São Mateus, ES, Brasil

\*Autor para correspondência, E-mail: thiago.p.xavier@ufes.br

Received: 26 January 2024 | Accepted: 11 March 2024 | Published online: 5 June 2024

**Resumo:** O Brasil desempenha um papel de destaque no cenário global do mercado de revestimentos cerâmicos, e desde o início da produção em solo nacional foi identificada a necessidade de inovação nas indústrias brasileiras para manter sua competitividade no mercado. Este estudo de caso tem como objetivo descrever a utilização de conceitos da metodologia *Lean Six Sigma*, centrada no desenvolvimento do DMAIC, para aperfeiçoamento de um processo em uma indústria de porcelanatos e revestimentos cerâmicos. Que é a opção ideal para resolver problemas complexos de variabilidade de forma robusta e eficaz em diferentes tipos de processos produtivos em empresas dos mais variados portes. O setor de “Classificação” foi selecionado para a aplicação do método DMAIC devido à natureza dinâmica dos processos envolvidos nesta fase da produção, que conta com equipes mais receptivas a mudanças na rotina de trabalho, com o objetivo de alcançar uma performance superior com maior rapidez. As mudanças implementadas no processo demonstraram resultados perceptíveis e foram reconhecidas pela gerência do setor, uma vez que trouxeram ganhos significativos em termos de eficiência, qualidade e organização. A aplicação da metodologia DMAIC revelou-se abrangente e flexível, permitindo uma adaptação eficaz ao contexto específico da indústria trabalhada.

Palavras-chave: manufatura enxuta, indústria cerâmica, qualidade de processo, eficiência energética, seis sigma.

**Abstract:** Brazil plays a prominent role in the global ceramic coatings market, and since the beginning of production within the country, there has been a recognized need for innovation in Brazilian industries to maintain competitiveness. This case study aims to describe the utilization of Lean Six Sigma methodology concepts, specifically focusing on the DMAIC phase, for improving a process in a porcelain and ceramic coatings industry. The “Classification” sector was selected to apply the DMAIC method due to the dynamic nature of the processes involved in this phase of production, which has teams that are more receptive to changes in the work routine, with the aim of achieving superior performance more quickly. The implemented process changes yielded noticeable results and were acknowledged by the sector management, as they brought significant gains in terms of efficiency, quality, and organization. The application of the DMAIC methodology proved to be comprehensive and flexible, enabling effective adaptation to the specific context of this industry.

Keywords: lean manufacturing, ceramic industry, process quality, energy efficiency, six sigma.

## **1 Introdução**

A origem da cerâmica remonta a períodos ancestrais da história humana, representando uma das mais antigas formas de arte e produção utilitária. As primeiras manifestações da cerâmica datam de aproximadamente 30.000 a.C., sendo encontradas em sítios arqueológicos que revelam a modelagem primitiva de argila, seguida por sua queima em temperaturas elevadas para produzir utensílios e artefatos

utilitários. Ao longo dos séculos, a cerâmica se disseminou pelo mundo, adaptando-se às culturas locais e evoluindo em termos de técnicas, estilos e aplicações (Arnold, 1988). Hoje, a cerâmica é apreciada como uma forma de arte e continua a ser utilizada como um meio prático e funcional para diversos fins.

O Brasil desempenha um papel de destaque no cenário global do mercado de revestimentos cerâmicos e louças sanitárias, ocupando a posição de terceiro maior produtor, terceiro maior mercado consumidor e sexto maior exportador, com vendas abrangendo mais de 110 países. O setor produtivo desempenha um papel significativo, contribuindo com 6% do Produto Interno Bruto (PIB) da indústria de materiais de construção, além de ser o segundo maior consumidor industrial de gás natural no país (ANFACER, 2023).

Desde o início da produção de revestimentos cerâmicos porcelânicos no Brasil, foi identificada a necessidade de inovação nas indústrias brasileiras para manter sua competitividade no mercado (Menegazzo et al., 2000). A abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias cerâmicas brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada. As regiões que mais se desenvolveram foram a SUDESTE e a SUL, em razão da maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infraestrutura, melhor distribuição de renda, associado ainda as facilidades de matérias-primas, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas. Portanto, são nelas onde se tem uma grande concentração de indústrias de todos os segmentos cerâmicos (ABCERAM, 2024). Com a modernização da produção, o uso de novas tecnologias e equipamentos, o aumento da produção e a diversificação do consumo de bens e serviços do setor, cada vez mais os processos produtivos precisam se tornar eficientes, eficazes e efetivos, para que aumentos no custo de produção sejam minimizados fazendo com que as empresas se mantenham competitivas. Sabe-se que a busca por sustentabilidade industrial está estreitamente correlacionada com a busca por melhorar a qualidade, eliminar defeitos e melhorar o desempenho do negócio, capacidade de processo e produtividade. Nesse sentido, sucessivos estudos apresentam a melhoria destes indicadores em indústrias manufatureiras que adotaram o método Lean Six Sigma (Purba et al., 2021). Além disso, *Lean Six Sigma* pode ser enxergada como uma filosofia, ainda que com a mesma definição, primeiro o *Lean* que visa diretamente valorizar a melhoria e a redução de desperdícios e depois com o *Six Sigma* que está relacionado com a redução da variação do processo. No objetivo final, muitos autores concordam que a iniciativa, metodologia, filosofia ou estrutura é utilizada para melhorar produtos e serviços reduzindo custos e desperdícios e aumentando a percepção de qualidade pelos clientes (Zanezi e Carvalho, 2022).

As fábricas de cerâmica baseiam suas operações na produção contínua e automatizada, priorizando a manutenção adequada das máquinas para evitar perdas de produção. Nesse sentido, Huaman-Vargas, et al., (2023) realizaram um estudo baseado na metodologia *Lean Manufacturing* numa fábrica de cerâmicas com foco a redução de produtos defeituosos, uma vez que gera a maior perda econômica. Para tanto, propuseram um modelo de gestão da produção baseado nas ferramentas TPM (*Total Productive Maintenance*) e SMED (*Single Minute Exchange of Die*), contribuindo para o aumento da disponibilidade e redução do tempo médio entre falhas de máquinas.

No trabalho de Pinto et al. (2017) foi proposto a aplicação das ferramentas DMAIC, contidas no contexto do *Six Sigma*, e do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) sob a perspectiva da filosofia *Lean* a fim de identificar o foco de desperdícios que pode ser melhorado, corroborando com o *Lean Thinking* (pensamento enxuto), em uma cadeia de serviços. Sendo que se basearam no ciclo DMAIC para estabelecer o panorama industrial e o método de condução do estudo do processo e, conseqüentemente, a influência das diretrizes na gestão e seu impacto na gestão da rotina de trabalho, alcançando excelentes resultados com a redução do desperdício, a partir da otimização do estoque de suprimentos da empresa.

Ainda assim, a indústria cerâmica encontra inúmeras barreiras ao tentar implementar ferramentas *Lean*, entre as quais as maiores são consideradas ameaças resultantes da falta de conhecimento especializado sobre este conceito e escassez de equipe, bem como a falta de modelo de referência para a implementação das ferramentas *Lean* na indústria cerâmica, que se caracteriza por processos naturais específicos, sendo que as atividades-chave para superar barreiras à implementação do *Lean* na indústria cerâmica são a educação do pessoal de gestão e o desenvolvimento de um conjunto de procedimentos e diretrizes para facilitar a implementação de ferramentas deste conceito nos processos produtivos de fábricas de cerâmica (Kleszcz, 2018; Ulewicz, et al., 2021).

Assim, no sentido de contribuir com estudos que apontem possibilidades de aperfeiçoamento dos sistemas produtivos na indústria do segmento cerâmico, o presente trabalho tem como objetivo descrever a utilização de conceitos da metodologia *Lean Six Sigma*, para melhoria de um processo em uma indústria de porcelanatos e revestimentos cerâmicos localizada no estado do Espírito Santo.

## 1.1 Melhoria de processo na indústria cerâmica

A melhoria nos indicadores de qualidade e produtividade pode ser alcançada através da automatização de processos, com a finalidade de reduzir erros operacionais e eliminar gargalos. No entanto, *benchmarks* realizados e a revisão da literatura indicam que estruturalmente as plantas de fabricação de revestimentos cerâmicos porcelanatos não permitem uma correção integrada e rápida, tornando-se necessário avaliar e buscar melhorias nos processos internos aos setores fabris, caso a caso (Barbosa et al., 2008).

Os processos e setores específicos podem ser diferenciados de acordo com o tipo de cerâmica ou porcelana produzida, bem como com as particularidades do modelo de produção implementado pela empresa. Como ilustrado na Figura 1, a estruturação do processo de fabricação mais frequentemente adotada pode ser sintetizada em seis etapas distintas (Gasch, 2007):

- 1) Preparação de matérias-primas: A primeira etapa consiste na mistura de argila, minerais, água e outros componentes para formar uma massa homogênea. Essa massa é misturada para garantir que todos os ingredientes estejam bem distribuídos e combinados.
- 2) Moldagem: A massa é então moldada em formas específicas para dar forma aos produtos. A moldagem pode ser feita de várias maneiras, incluindo prensagem a frio, extrusão ou moldagem por injeção.
- 3) Secagem: A peça moldada é então secada para remover a umidade excessiva. Essa etapa é crítica para garantir que a peça mantenha sua forma e não se deforme durante o processo de queima.
- 4) Revestimento: Após a secagem, a peça é revestida com um esmalte vitrificado. Este revestimento é aplicado com precisão para garantir uma camada uniforme e de alta qualidade.
- 5) Queima: A peça revestida é então aquecida a altas temperaturas (cerca de 1200-1400°C) para endurecê-la e dar-lhe resistência. A queima é realizada em fornos especializados que controlam a temperatura e o tempo de queima de maneira precisa.
- 6) Classificação: Após a queima, as peças são inspecionadas para verificar se atendem aos padrões de qualidade exigidos. Isso inclui verificações de espessura, cor, brilho e resistência. Além do controle de qualidade, o setor comumente também é responsável pela embalagem e expedição. As peças que passam no controle de qualidade são então embaladas e enviadas para distribuição. O porcelanato esmaltado estará então pronto para ser instalado e utilizado como revestimento para pisos e paredes.

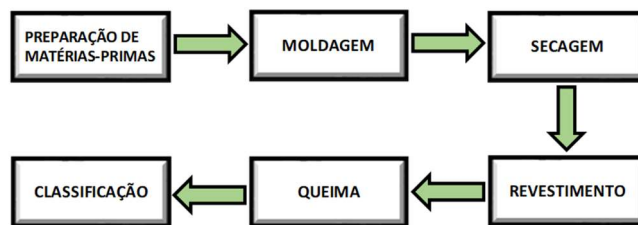


Figura 1. Sequência de setores que compõe uma fábrica de revestimentos cerâmicos, em ordem sequencial.

Os revestimentos cerâmicos, na forma de placas cerâmicas, são constituídos, em geral, de três camadas: a) o suporte ou biscoito, b) o engobe, que tem função impermeabilizante e garante a aderência da terceira camada, e c) o esmalte, camada vítrea que também impermeabiliza, além de decorar uma das faces da placa. O corpo cerâmico compõe-se de matérias-primas naturais, argilosas e não argilosas. Os materiais argilosos são formados de uma mistura de diversos tipos e características de argilas para dar a composição desejada e são à base do biscoito. Os materiais não argilosos, quartzo, feldspato e caulim, servem para sustentar o corpo cerâmico ou promover a fusão da massa e os materiais sintéticos são utilizados para a produção de engobes e esmaltes e, servem para fazer a decoração dos revestimentos. Estes revestimentos são usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos. Recebem designações tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grés, lajota, piso etc. A tecnologia do porcelanato trouxe produtos de qualidade técnica e estética refinada, que em muitos casos se assemelham às pedras naturais (ANFACER, 2023).

## 1.2 Lean Six Sigma

O George Group, uma renomada consultoria especializada em otimização de desempenho e inovação, foi pioneiro na integração e na popularização da união de duas metodologias distintas: *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta) e *Six Sigma* (Seis Sigma). Essa abordagem sinérgica é conhecida como *Lean Six*

*Sigma* (Salah et al., 2010) e se tornou a opção ideal para resolver problemas complexos de variabilidade de forma robusta e eficaz em diferentes tipos de processos produtivos em empresas dos mais variados portes.

O *Lean Manufacturing* é uma filosofia de gestão que se concentra na eliminação de desperdícios e na maximização do valor entregue ao cliente. Seu objetivo é alcançar eficiência e agilidade nos processos, reduzindo atividades desnecessárias, estoques excessivos e tempos de espera (Werkema, 2012a).

Por outro lado, o *Six Sigma* é uma metodologia que visa à redução da variação e à melhoria da qualidade dos processos. Seu foco está na identificação e eliminação das causas fundamentais dos problemas, por meio da análise de dados e do uso de ferramentas estatísticas.

Ao combinar essas duas abordagens, o *Lean Six Sigma* almeja obter os benefícios inerentes a ambas, promovendo eficiência e qualidade simultaneamente. Michael L. George, reconhecido especialista do assunto, afirmou que a sinergia existente entre os métodos é tão significativa que, se seguido um planejamento minucioso, é possível observar retornos financeiros e econômicos substanciais em um período inferior a um ano (George, 2002).

## 1.2 DMAIC

Desenvolvida pela Motorola na década de 1980, a metodologia *Six Sigma* é uma abordagem amplamente reconhecida e aceita para a melhoria de processos que busca reduzir defeitos e variações dentro dos processos organizacionais. Essa metodologia consiste em uma abordagem baseada em dados que emprega ferramentas estatísticas e técnicas para identificar e eliminar fontes de desperdício e ineficiência nos processos, com o objetivo final de alcançar uma performance quase perfeita (Harry e Schroeder, 2000).

O *Six Sigma* é centrado no processo ou ciclo DMAIC, um acrônimo que significa Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*). Este processo de cinco etapas serve como guia para as organizações enquanto elas realizam a jornada de melhoria de processos, começando com a definição do processo e de seus objetivos, seguido pela medição do desempenho atual do processo, análise dos dados para identificar fontes de variação, implementação de melhorias eliminando ou reduzindo fontes de variação e finalmente, o controle do processo para manter os aperfeiçoamentos com o objetivo de melhorar a capacidade dos processos na indústria cerâmica (Maia et al., 2019).

Além do processo DMAIC, a metodologia *Six Sigma* também emprega uma série de ferramentas e técnicas, como controle estatístico de processos, mapeamento de processos e projetos de experimentos, para auxiliar no processo de melhoria. A metodologia é amplamente utilizada nas indústrias de manufatura e de serviços para melhorar a qualidade, eficiência e satisfação do cliente, e reduzir custos.

Dada sua ampla aplicação na indústria, a metodologia *Six Sigma* também tem sido objeto de ampla pesquisa acadêmica. Diversos autores como Smith (1993), Harry e Schroeder (2000) e Pyzdek e Keller (2010) contribuíram para o corpo de literatura sobre a metodologia *Six Sigma*, incluindo seus princípios, ferramentas e técnicas, bem como sua aplicação em diversos contextos organizacionais e indústrias.

A metodologia DMAIC é uma abordagem de melhoria de processos estruturada e orientada por dados, e é utilizada para reduzir defeitos e variabilidade nos processos com o objetivo de aumentar sua eficiência e eficácia (Wheeler, 2004).

A primeira etapa no processo DMAIC é “Definir”. Esta etapa é fundamental para garantir que a equipe tenha uma compreensão clara do problema e esteja trabalhando em direção a um objetivo comum. Nesta etapa o problema a ser abordado, seu escopo e objetivos são identificados e definidos. As características críticas para a qualidade que requerem melhoria e os requisitos do cliente que devem ser atendidos também são estabelecidos (Pyzdek & Keller, 2010).

O estágio “Medir” envolve a coleta de dados e o estabelecimento de uma linha de base para o processo que está sendo analisado. Esta etapa utiliza vários métodos de coleta de dados, incluindo observações, pesquisas e medições, para reunir informações sobre o processo. Os dados coletados são usados para estabelecer os níveis atuais de desempenho do processo e identificar áreas que requerem melhorias.

Em “Analisar” envolve a análise dos dados coletados na etapa Medir com o objetivo de identificar as causas raiz do problema. Ferramentas e técnicas estatísticas são utilizadas para analisar os dados e identificar tendências e padrões. Esta etapa fornece insights sobre possíveis soluções e ajuda a equipe a entender por que o problema está ocorrendo.

A etapa “Melhorar” engloba o desenvolvimento e implementação de soluções para melhorar o processo. Soluções potenciais são avaliadas e priorizadas, e as mais eficazes são selecionadas para implementação. As soluções são testadas para determinar seu impacto no processo e garantir que as melhorias realizadas sejam efetivas.

Por fim, “Controlar” envolve o monitoramento e a manutenção das melhorias realizadas no processo. Sistemas de controle e processos são estabelecidos para garantir que as melhorias sejam sustentadas ao longo do tempo, e o processo é monitorado para quaisquer mudanças que possam impactar as melhorias. Se necessário, o processo é ajustado para manter as melhorias.

Em suma, a metodologia DMAIC fornece uma abordagem sistemática para melhoria de processos e suas cinco etapas orientam a equipe desde a definição do problema até o controle das melhorias. A metodologia pode ser utilizada para abordar uma ampla gama de problemas, desde problemas simples de processo até problemas complexos de qualidade.

Nos estudos sobre a implementação da metodologia *Six Sigma*, há uma escassez de discussão acerca das diversas indústrias pertencentes ao setor de manufatura, incluindo a indústria cerâmica. No entanto, é possível constatar que a utilização de indicadores financeiros, de pessoal, de processos e de clientes é uma estratégia eficaz para avaliar a melhoria geral da implementação de *Six Sigma* neste setor de produção de revestimentos cerâmicos, sendo suficiente para a maioria dos estudiosos (Patel e Desai, 2018).

## 2 Metodologia

Neste estudo de caso foi aplicado o método DMAIC, compreendendo ferramentas do *Lean Six Sigma* para aperfeiçoamento de processos, em uma indústria de porcelanatos e revestimentos cerâmicos.

O setor de “Classificação” foi selecionado para a aplicação do método DMAIC devido à natureza dinâmica dos processos envolvidos nesta fase da produção, já que foi identificada oportunidade de melhoria do processo de embalagem e identificação dos produtos na linha X. Além disso, as equipes desse setor tendem a ser mais receptivas a mudanças na rotina de trabalho, com o objetivo de alcançar uma performance superior, e as melhorias propostas neste setor são geralmente implementadas com maior rapidez.

Um dos trabalhos seminais sobre o tema: “*The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*” (Pyzdek & Keller, 2010), fornece informações valiosas sobre as ferramentas necessárias para a implementação bem-sucedida de cada fase do processo DMAIC. Com base nas informações fornecidas por esta e outras referências primordiais já citadas, foi possível selecionar as ferramentas mais adequadas para cada fase do projeto, garantindo uma abordagem metodológica eficaz na implementação do *Lean Six Sigma*.

A fim de ilustrar de forma clara e concisa essa seleção metodológica, na Figura 2 é possível visualizar em detalhes cada uma das ferramentas adotadas, bem como as etapas do processo DMAIC em que são aplicadas.

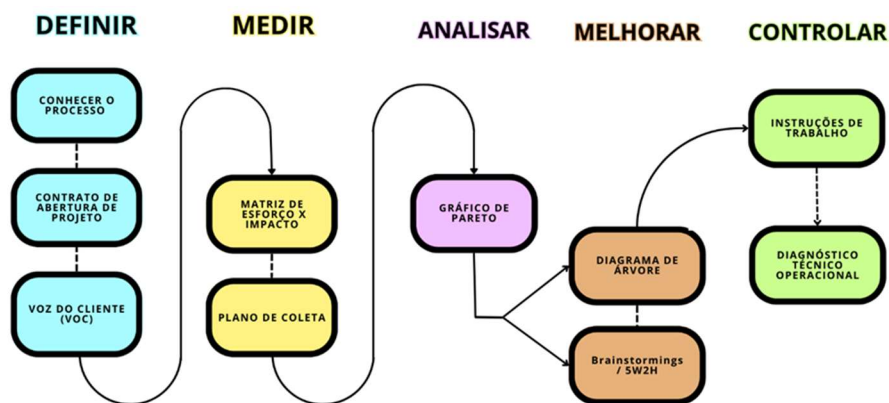


Figura 2. Diagrama de fluxo das ferramentas utilizadas conforme ordem sequencial do DMAIC.

Cabe ressaltar que cada empresa, em virtude de suas particularidades, demanda uma abordagem específica. Nesse sentido, a escolha das ferramentas da qualidade utilizadas foi fundamentada na necessidade de adaptar o projeto à realidade do setor em questão, bem como considerar o acesso aos recursos e informações da empresa que foram disponibilizados.

## 3 Resultados e discussão

Neste tópico, serão descritos os avanços alcançados em cada etapa da metodologia DMAIC. Serão abordadas as percepções dos clientes, as oportunidades de aprimoramento identificadas, as análises

realizadas, as modificações implementadas no processo e os resultados obtidos por meio da execução dessas.

### 3.1 Definir

Na etapa “Definir” (*Define*), a análise da “Voz do Cliente” (VOC) foi realizada para reunir os requisitos e expectativas do cliente (Figura 3). Por meio dessa, buscou-se identificar e compreender as demandas dos clientes, captando suas preferências, requisitos e pontos de dor. Os clientes são os principais direcionadores de qualquer processo, uma vez que suas opiniões e feedbacks são essenciais para aprimorar a qualidade do serviço oferecido. Através da Voz do Cliente, é possível estabelecer uma ponte entre as necessidades dos clientes e os requisitos críticos para a qualidade (CTQs) e processo (CTPs). Essa ferramenta auxiliou na definição clara e precisa dos objetivos do projeto, direcionando os esforços para atender às expectativas dos clientes e melhorar a satisfação geral com as entregas.

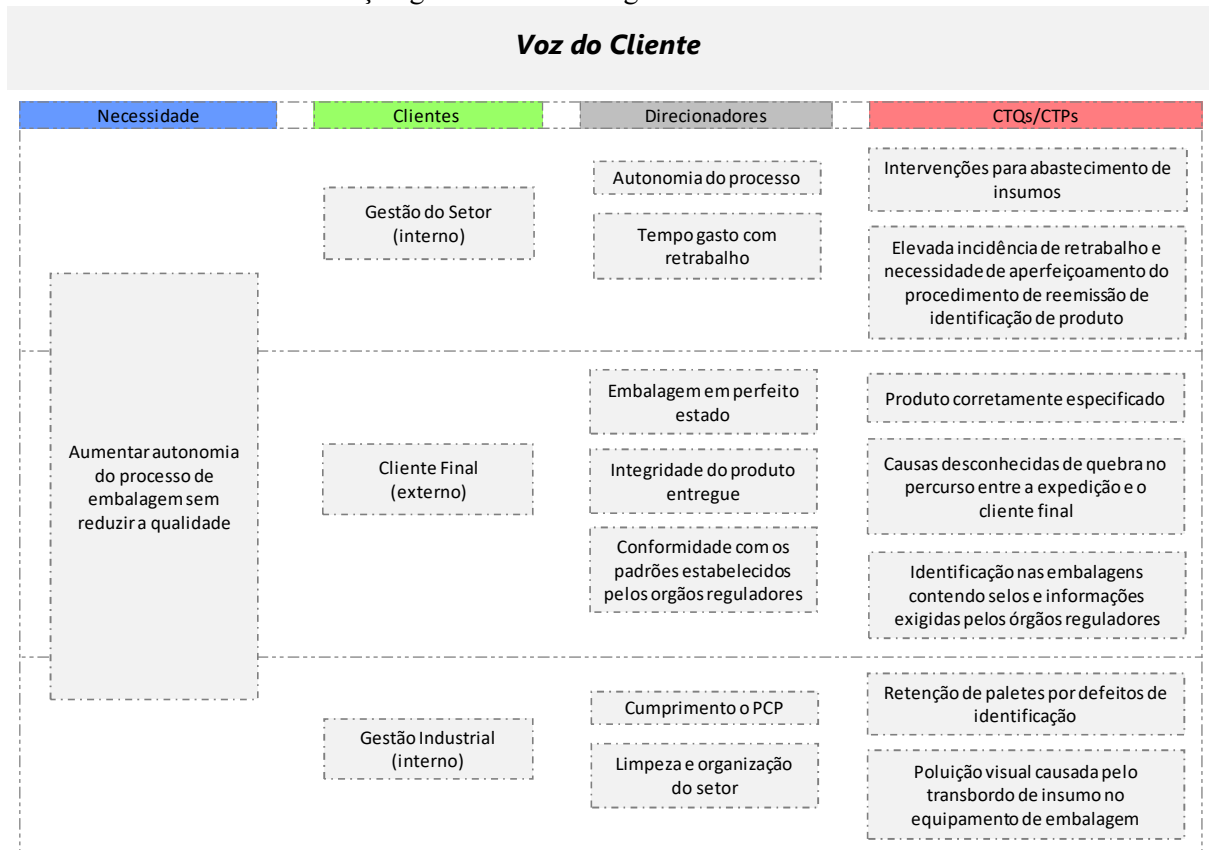


Figura 3. Análise de Voz do Cliente, contendo em colunas: a necessidade principal a ser atendida pelo projeto, clientes, direcionadores dos clientes e CTQs/CTPs derivados dos direcionadores.

Além disso, o “Contrato de Abertura do Projeto” (*Project Charter*) foi desenvolvido para fornecer uma visão geral abrangente dos objetivos, partes interessadas e limites do projeto (Figura 4).

Um *Project Charter* é um breve documento formal que declara a existência de um projeto e fornece aos gerentes de projeto autoridade por escrito para iniciar o trabalho. Um bom documento de abertura do projeto descreve as ações e esforços, de forma temporária e progressiva para criar um entendimento compartilhado das metas, objetivos e requisitos de recursos para que o escopo do projeto seja definido em detalhes.

No *Project Charter* devem ser relacionadas premissas e restrições. Segundo o PMBOK® Guide, “uma restrição representa uma limitação que afetará o desempenho do projeto. Por exemplo, um orçamento predefinido é uma restrição que muito provavelmente limitará as opções da equipe em termos de escopo, formação da equipe e cronograma. As premissas são fatores que, para fins de planejamento, são considerados verdadeiros, reais ou certos. Elas afetam todos os aspectos do planejamento e fazem parte da elaboração progressiva do projeto. Por exemplo, se a data de disponibilidade de uma pessoa importante for incerta, a equipe pode presumir uma data específica para seu início no trabalho do projeto. As premissas geralmente envolvem um certo grau de risco” (Werkema, 2011). Sendo assim, a autorização para formalização do projeto para melhoria do processo, de embalagem e identificação dos produtos na linha X,

foi conseguida a partir da formalização do *Project Charter*. Na avaliação do retorno econômico, fatores como aumento nas vendas, melhoria nas margens, aumento de produtividade e maior retenção de clientes devem ser levados em consideração. Ela deverá ser validada pelo departamento financeiro/controladoria da empresa. É importante destacar que, para que as conclusões obtidas a partir da análise do histórico do problema possam ser, de fato, consideradas verdadeiras, os dados que deram origem a essa análise devem ser confiáveis (Werkema, 2012b).

<b>Project Charter</b>			
<b>Informações do Projeto</b>			
Título do Projeto	Proposta de melhoria do processo de embalagem e identificação dos produtos na <b>Linha X</b>		
Equipe de Projeto	<p style="text-align: center;"><i>Cargo</i></p> Estudante de Engenharia da UFES / Estagiário do setor; Coordenador do setor; Trainee do setor; Equipe de Manutenção / Mecânica do setor.	Data de Início	fev/23
		Data de Término	ago/23
<b>Informações do Processo</b>			
Descrição do Problema	No âmbito do projeto, foi identificada a necessidade de otimizar o processo de embalagem do produto classificado, que atualmente requer uma intervenção constante por parte dos operadores para repor os insumos. Considerando que durante a expansão do parque fabril da empresa será construída uma linha paralela, e com o mesmo processo de embalagem, este projeto visa automatizar gradualmente o <b>Equipamento Y</b> , aumentando a autonomia do processo e garantindo que a qualidade do produto não seja comprometida.		
Definição da Meta	Diminuir em aproximadamente 50% o homem-hora do processo principal e otimizar procedimentos derivados do mesmo.		
Ganhos Previstos	Aumento de autonomia do processo, padronização de processos, otimização de procedimentos derivados do processo alvo e melhor organização e limpeza do setor.		

Figura 4. Contrato de Projeto (Project Charter), contendo informações do projeto e processo.

### 3.2 Medir

Durante a fase “Medir” (*Measure*) ocorreu a coleta de dados. Essa etapa desempenhou um papel crucial na quantificação dos problemas identificados. Nesse contexto, duas ferramentas metodológicas relevantes são a “Matriz de Esforço Impacto” e o “Plano de Coleta”.

A “Matriz de Esforço Impacto” é uma técnica que permite a classificação e priorização dos problemas com base no esforço necessário para resolvê-los e no impacto que têm no processo. Essa matriz auxilia na alocação eficiente dos recursos disponíveis, concentrando-se nas áreas que requerem atenção imediata e oferecendo uma visão geral dos desafios enfrentados.

A matriz é composta por quatro quadrantes que representam diferentes combinações de esforço e impacto:

I - No primeiro quadrante, encontram-se os problemas que demandam um esforço relativamente baixo para serem solucionados, porém apresentam um impacto positivo significativo no processo. Esses problemas são considerados de alta prioridade, pois a implementação de soluções relativamente simples pode gerar melhorias consideráveis e impactar positivamente o desempenho do projeto ou processo.

II - No segundo quadrante, estão os problemas que requerem um esforço considerável para serem resolvidos, mas têm um impacto positivo significativo no processo. Esses problemas são de alta relevância e devem ser tratados com prioridade, uma vez que o esforço necessário para sua resolução é justificado pelos benefícios expressivos que podem ser obtidos.

III - No terceiro quadrante, estão os problemas que demandam um esforço relativamente baixo para serem solucionados e têm um impacto positivo limitado no processo. Embora esses problemas sejam de menor prioridade, ainda são relevantes e podem ser abordados em estágios posteriores, quando os problemas com maior impacto já tiverem sido resolvidos.

IV - No quarto quadrante, encontram-se os problemas que requerem um esforço considerável para serem resolvidos, porém têm um impacto positivo limitado no processo. Esses problemas são considerados de menor prioridade, uma vez que o esforço necessário para sua solução não é justificado pelos benefícios proporcionados. Eles podem ser abordados em fases posteriores, caso haja recursos e tempo disponíveis após a resolução dos problemas com maior impacto.

A matriz na Figura 5 foi elaborada levando em consideração as CTQs/CTPs identificadas no relatório da Voz do Cliente.

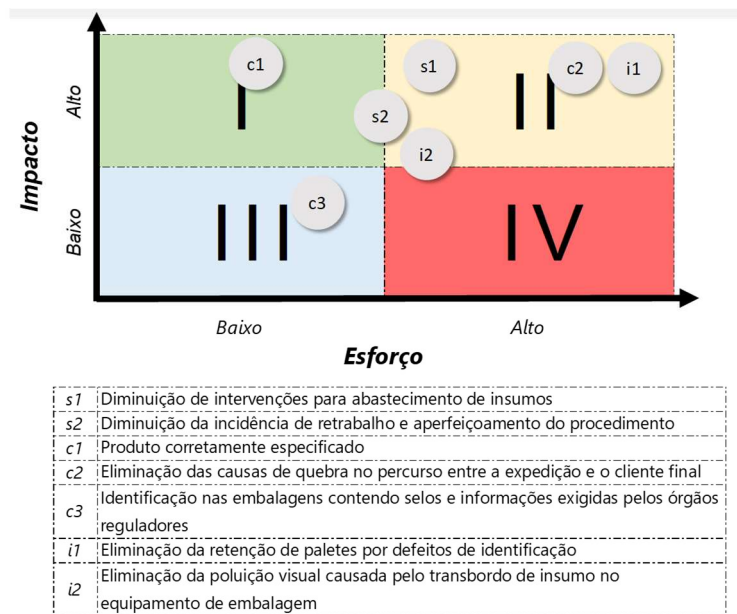


Figura 5. Matriz de Esforço versus Impacto, com cada ação de acordo com seu código.

Em relação à representação gráfica apresentada na Figura 5, é importante ressaltar que os problemas identificados como "c2" e "i1" não foram abordados neste projeto específico, sendo destinados a outras frentes de ação. No entanto, os demais pontos identificados na figura foram devidamente segmentados e deu-se início ao processo de coleta de dados com o intuito de compreender o estado atual desses problemas. Essa etapa é essencial para embasar as análises subsequentes e direcionar as ações de melhoria necessárias no âmbito do projeto em questão.

Por fim, o "Plano de Coleta" (Figura 6) desempenhou um papel fundamental na obtenção de dados relevantes e confiáveis para a análise. Ele fornece um roteiro detalhado das informações necessárias, identificando as fontes de dados, os métodos de coleta e os critérios de amostragem.

Por meio das atividades realizadas nessa etapa, o problema do projeto foi dividido em outros problemas de menor escopo ou mais específicos, de mais fácil solução, de acordo com o tipo de dado demandado para coleta e posterior. É importante enfatizar que, antes do início da coleta de dados, foram realizadas a preparação e testes dos sistemas de medição e inspeção utilizados.



DADO COLETADO	TIPO DE DADO	COLETA DE DADOS	DEFINIÇÃO OPERACIONAL	UNIDADE MEDIDA	AMOSTRAGEM
Autonomia do reservatório de cola da máquina	Contínuo	Coleta Proativa: Duas vezes por dia	Tempo decorrido entre o abastecimento completo do reservatório até o alarme de reabastecimento	minutos	Avaliar o desempenho do equipamento durante uma semana
Tempo de emissão de identificação de produto	Contínuo	Coleta Proativa: Coleta única	Tempo demandado pelos supervisores entre abrir o modelo disponível no software até emitir nova identificação de produto	minutos	Cronometrar o processo em 3 amostras de cada, a fim de se chegar em uma média ideal
Falhas de processo que ocasionaram defeitos na identificação do produto	Atributivos	Coleta Reativa: Coleta única	Falhas que geraram retrabalho de identificação de material, mencionadas nos relatórios de fechamento de turno dos Supervisores	N/A	Compilar todos relatos contidos no armazenamento digital do setor.

Figura 6. Plano para Coleta de Dados, detalhando 3 fontes dados (linhas) utilizadas no projeto.

### 3.3 Analisar

Na etapa “Analisar” (Analyse) pode-se empregar uma extensa variedade de ferramentas estatísticas para compreender melhor a natureza do problema. Essas ferramentas incluem gráficos de controle para monitorar a estabilidade do processo e detectar variações de causa especial, “Gráficos de Pareto” para priorizar problemas, histogramas para analisar distribuições de dados, gráficos de dispersão para examinar a relação entre variáveis, teste de hipótese para validar teorias sobre a causa raiz e análise de regressão para determinar o impacto dos múltiplos fatores envolvidos.

Neste projeto optou-se pela utilização do Gráfico de Pareto, esta ferramenta desempenhou um papel significativo ao fornecer uma representação visual das causas em ordem de importância, permitindo que a equipe identificasse e priorize as causas mais significativas de um dos problemas a serem resolvidos.

Esta análise foi conduzida com o objetivo de investigar a proporção das fontes de erro do processo que resultaram em defeitos na identificação dos produtos durante os meses anteriores, com base nos dados disponíveis na base de dados digital.

De acordo com o “Princípio de Pareto”, uma pequena porcentagem de causas é responsável pela maioria dos problemas encontrados. Ao analisar o gráfico da Figura 7, foi possível direcionar os esforços para as causas que têm maior impacto e, assim, obter resultados mais significativos na melhoria do processo. Sendo que foram identificadas as causas fundamentais do problema prioritário associado a cada uma das metas definidas na etapa anterior.

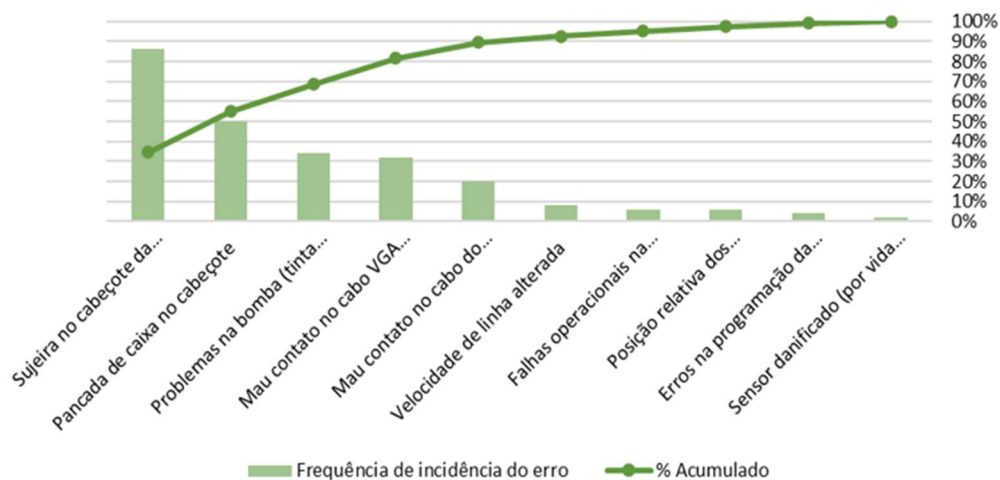


Figura 7. Gráfico de Pareto das “Falhas de processo que ocasionaram defeito na identificação do produto”.

A ferramenta permitiu uma abordagem focada, economizando tempo e recursos, orientando ações sobre as causas mais críticas o erro de impressão, sendo que as causas: sujeira no cabeçote da impressora (illegível por raia ou turvo) contribuindo com 34,7% das ocorrências da falha, pancada de caixa no cabeçote

(20,2%), problemas na bomba (tinta insuficiente no cabeçote) (13,7%), mau contato no cabo VGA entre a CPU e o cabeçote da Impressora (12,9%) somadas no acumulado contribuem com 81,5% dos problemas identificados, fazendo com que fossem priorizados nas ações para diminuir a ocorrência das falhas de embalagem e identificação dos produtos na linha X. E os restantes das causas, tais como: mau contato no cabo do sensor de presença (8,1%), velocidade de linha alterada (3,2%), falhas operacionais na inserção de especificações do produto (2,4%), posição relativa dos componentes da impressora (distância padrão entre bomba e cabeçote) (2,4%), erros na programação da escrita / Parâmetro não aceito pelo software (1,6%) e sensor danificado (por vida útil ou contato) (0,8%) contribuem com o restante do acumulado totalizando 18,5%.

### 3.4 Melhorar

A etapa “Melhorar” (Improve) compreende a implementação de soluções e o aprimoramento do processo em análise. Para isso, o "Diagrama de Árvore" desempenhou uma função fundamental, pois é uma ferramenta gráfica que auxiliou na identificação e organização das alternativas de melhoria, dividindo-as em categorias e subcategorias. Inicialmente foram geradas ideias sobre soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema prioritário detectadas na etapa *Analyze*. Esse método permitiu a visualização clara das diferentes opções disponíveis, bem como de suas implicações e conexões (Figura 8).

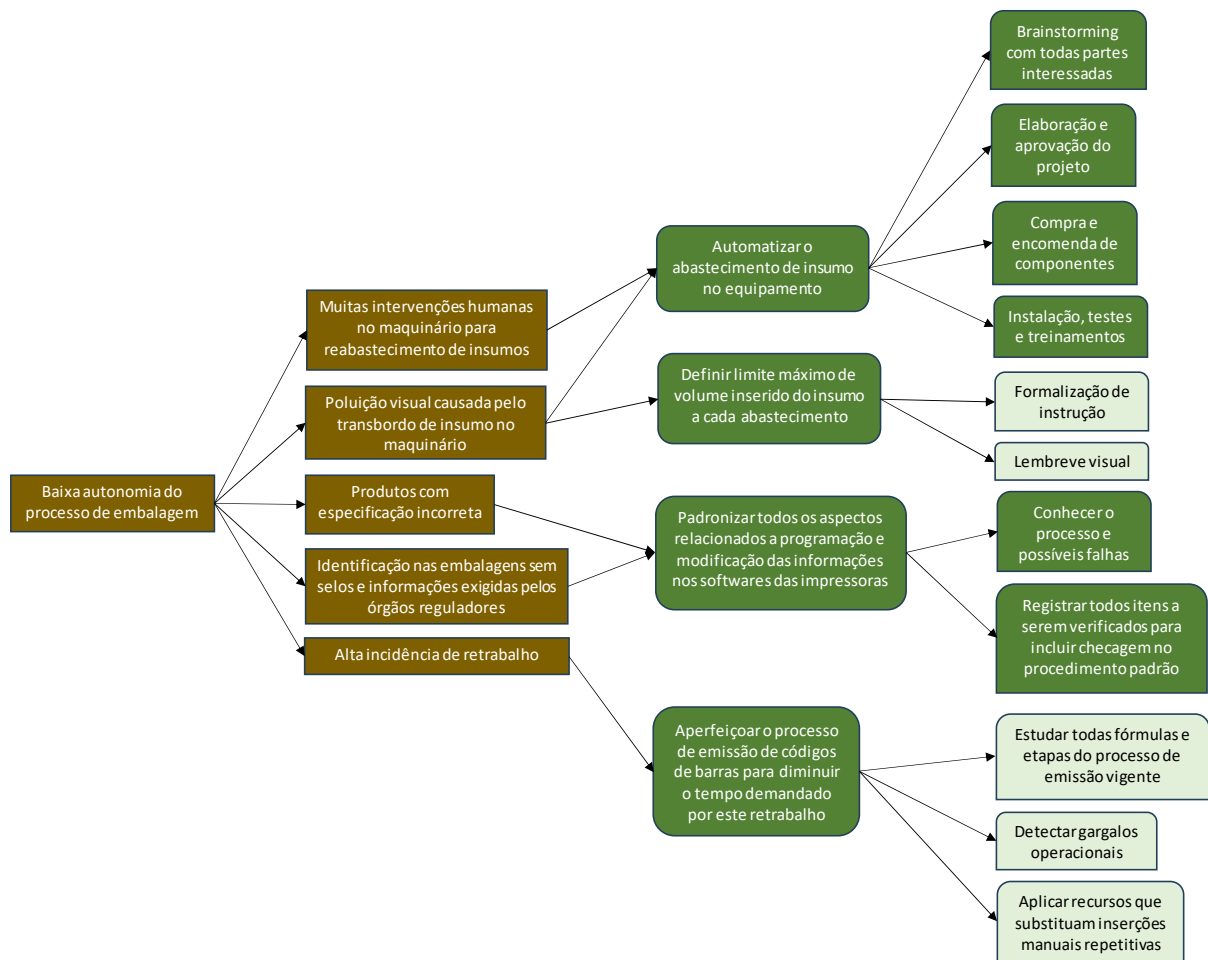


Figura 8. Diagrama de Árvore, primeiramente desmembrando o problema principal em problemas menores, depois em soluções e por fim em etapas gerais para realizar cada solução.

Paralelamente, o uso de *brainstormings* (reuniões com foco na geração de ideias) foi vital para definir planos de ação para resolver as dores filtradas pela ferramenta Matriz Esforço Impacto. A ferramenta 5W2H é uma metodologia eficaz para criar planos de ação de forma estruturada e abrangente. Com o uso dessa ferramenta, foi possível responder às perguntas-chave: *What* (O que será feito?), *Why* (Por que será feito?), *Who* (Quem será responsável?), *When* (Quando será feito?), *Where* (Onde será feito?), *How* (Como será feito?) e *How much* (Quanto irá custar?). Essas respostas forneceram uma visão clara das atividades,

justificativas, responsáveis, prazos, locais, métodos e custos envolvidos na implementação dos planos de ação.

Uma vez que todos os aspectos do 5W2H foram devidamente definidos, as ações foram implementadas em frentes distintas: aprimoramentos de processos e padronização. Agora, descreveremos detalhadamente as duas ações de aprimoramento de processos:

i. Automatização do abastecimento de insumo no Equipamento Y

- O Equipamento Y possui a capacidade de embalar automaticamente dezenas de peças de porcelanato por minuto. No entanto, requer a intervenção constante de operadores para abastecer insumos como cola e cartões de papelão. O projeto de automatização do abastecimento de cola no Equipamento Y contou com a contribuição de uma equipe especializada, pesquisa de mercado e aquisição de peças sob demanda. Além da programação básica, foi desenvolvida uma Interface Homem Máquina (IHM) para monitorar em tempo real todas as operações.
- Com a implementação dessa automação, a autonomia do equipamento aumentou significativamente, passando de 3 abastecimentos por hora para apenas 1 a cada 48 horas. Além dos benefícios diretos, calculados com base no tempo economizado pelos operadores durante cada abastecimento, o fato de eles não precisarem se preocupar constantemente com essa tarefa permitiu que se concentrassem em outros aspectos do processo. Isso resultou na detecção precoce de defeitos e, conseqüentemente, na melhoria dos indicadores de qualidade da Linha X.

ii. Aperfeiçoamento de sistemas

- No caso de ocorrência de qualquer um dos diversos erros mencionados, que acarretam na interrupção do processo de impressão das identificações dos produtos nas embalagens, como especificações e códigos de barras, faz-se necessário identificar manualmente os paletes de produtos afetados por meio de um processo de escrita manual.
- Anteriormente, esse processo exigia que os supervisores do setor tivessem acesso a bancos de dados contendo informações sobre os produtos, além de diversas aplicações para converter essas informações em todos os códigos requeridos pelos órgãos reguladores.
- Com as iniciativas de aprimoramento dos processos implementadas neste projeto, foi desenvolvido um sistema unificado utilizando o *software Microsoft Visual Basic for Applications*, capaz de gerar todos códigos e especificações a partir de *inputs* simples. Esse sistema reduziu o tempo necessário para realizar esse procedimento em 55%, o que resultou em uma economia de mais de 20 homem-hora/mês.

### 3.5 Controlar

A etapa “Controlar” (Control) desempenhou um papel fundamental na monitorização e manutenção dos ganhos obtidos por meio das melhorias implementadas. Consiste na avaliação do alcance da meta em larga escala. Com esse objetivo, os resultados obtidos após a ampla implementação das soluções devem ser monitorados para a confirmação do alcance do sucesso. Nesse contexto, duas ferramentas foram de extrema importância: a “Instrução de Trabalho” e o “Diagnóstico Técnico Operacional” (DTO).

A Instrução de Trabalho consiste em um documento detalhado que descreve os passos e procedimentos necessários para a execução de uma determinada tarefa. A elaboração desta garantiu a padronização das atividades e processos, permitindo que sejam realizados de maneira consistente e confiável. Ao utilizar a Instrução de Trabalho na etapa colaboradores têm acesso a diretrizes claras e precisas, o que facilita a execução correta das tarefas e a manutenção dos padrões de qualidade alcançados.

Por sua vez, o Diagnóstico Técnico Operacional é uma ferramenta que permite a avaliação contínua e a análise do desempenho do processo em relação aos objetivos estabelecidos. Essa ferramenta envolve a medição de indicadores-chave de desempenho, cumprimento dos padrões e a identificação de possíveis desvios ou ineficiências. Ao empregar o DTO, tem sido possível identificar variações indesejadas no processo e tomar medidas corretivas de maneira oportuna, seja através do treinamento das equipes, para variações indesejadas, ou atualizações dos padrões para variações decorrentes de mudanças propositalis no processo.

A confirmação foi feita pela comparação da quantidade de paradas antes e após a implementação das soluções em larga escala, que permitiram a comparação dos resultados e a verificação do alcance da meta. Assim, houve a padronização das alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas. Nesse sentido, os novos procedimentos operacionais padrão foram estabelecidos e os procedimentos antigos revisados. Nos procedimentos operacionais padrão foram incorporados mecanismos que tendem a garantir a realização de atividades “à prova de erro” (*Mistake-Proofing* ou *Poka-Yoke*), de modo a enfatizar

a detecção e correção de erros, antes que esses se transformem em defeitos transmitidos para o cliente/consumidor (Werkema, 2012b).

#### 4 Considerações finais

Neste estudo realizado em uma indústria de revestimentos cerâmicos, foi possível obter resultados significativos por meio do projeto executado. Durante o processo, foram realizadas a escuta e a análise das preocupações e necessidades de todas as partes interessadas na melhoria do processo. Essa abordagem permitiu traduzir essas dores em pontos específicos de melhoria, proporcionando um direcionamento efetivo para as ações necessárias.

Um passo importante foi a compreensão e o mapeamento detalhado do processo existente, permitindo identificar com clareza os pontos que requeriam atenção prioritária. A priorização dos problemas foi feita considerando o tempo e os recursos disponíveis, o que possibilitou uma abordagem realista e viável para a implementação das melhorias.

Além disso, foi necessário validar a confiabilidade dos dados disponíveis e planejar uma coleta padronizada de novos dados para embasar as análises realizadas. Essa etapa foi essencial para garantir que as decisões fossem baseadas em informações consistentes e confiáveis.

A partir da compreensão profunda do processo e dos dados confiáveis coletados, foram criados planos de ação completos, abrangendo todos os aspectos relevantes do processo e envolvendo todas as partes interessadas nas melhorias propostas. Essa abordagem integrada foi fundamental para garantir a eficácia e a abrangência das ações implementadas.

As mudanças implementadas no processo demonstraram resultados perceptíveis e foram reconhecidas pela gerência do setor, uma vez que trouxeram ganhos significativos em termos de eficiência, qualidade e organização.

Por fim, a padronização do processo aperfeiçoado foi alcançada sem perder a dinamicidade necessária para a adaptação às demandas e mudanças contínuas do ambiente. Isso foi possível graças ao acompanhamento cotidiano cuidadoso, que permitiu monitorar o processo, fazer ajustes quando necessário e garantir que as melhorias fossem mantidas de forma consistente.

A aplicação da metodologia DMAIC revelou-se abrangente e flexível, permitindo uma adaptação eficaz ao contexto específico desta indústria, resultando em melhorias satisfatórias para os clientes. Nesse sentido, o presente trabalho demonstrou sua relevância e aplicabilidade no contexto empresarial, evidenciando sua capacidade de contribuir para aprimoramentos significativos nos processos e alcançar resultados positivos no ambiente organizacional.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao PPGEN/CEUNES/UFES, à FAPES e à empresa fabricante de revestimentos cerâmicos onde o estudo foi realizado.

#### Referências bibliográficas

ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica (2023). *Cerâmica no Brasil – Considerações Gerais*. Disponível em: <https://abceram.org.br/consideracoes-gerais/> (acessado 8 agosto 2023).

ANFACER, Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos (2023). *Números do Setor Cerâmico Brasileiro*. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor> (acessado 21 junho 2023).

Arnold, DE (1988). *Ceramic Theory and Cultural Process*. Cambridge University Press.

Barbosa, DS, Silva, JE, Machado, RAF, Hotza, D (2008) ‘Controle e Automação na Indústria Cerâmica: Estudo de Caso na Fabricação de Porcelanato no Brasil’, *Cerâmica Industrial*, v. 13, n 4, pp. 23–30.

Gasch, JGM (2007) ‘Controle e Automação na Indústria Cerâmica: Evolução e Perspectivas’, *Cerâmica Industrial*, v. 12, pp. 15–26.

George, ML (2002) *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed* (1o ed). McGraw-Hill Education.

- Harry, M, Schroeder, R (2000) *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations* (1o ed). Doubleday Business.
- Huaman-Vargas, R, Yamir-Cubas, M, Quiroz-Flores, J (2023) 'Production management model under the Lean approach to reduce the waste rate in the manufacturing process of SMEs in the ceramic sector', *The Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*. <https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.197>
- Kleszcz, D (2018) 'Barriers and opportunities in implementation of Lean Manufacturing tools in the ceramic industry', *Production Engineering Archives*, v. 19, n. 19, pp.48-52. <https://doi.org/10.30657/pea.2018.19.10>
- Maia, M, Pimentel, C, Silva, F, Godina, R, Matias, J (2019) 'Order fulfilment process improvement in a ceramic industry', *Procedia Manufacturing*, v. 38, pp. 1436-1443. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.144>
- Menegazzo, APM, Lemos, FLN, Paschoal, JOA, Gouvêa, D, Carvalho, JC, Nóbrega, RSN (2000) 'Grés Porcelanato- Uma abordagem mercadológica'. *Cerâmica Industrial*, v. 5, pp. 7–10.
- Patel, M, Desai, DA (2018) 'Critical review and analysis of measuring the success of Six Sigma implementation in manufacturing sector', *International Journal of Quality and Reliability Management*, v. 35, n. 8, pp. 1519–1545. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2017-0081>
- Pinto, JS, Schuwarten, LA, Oliveira Júnior, GC, Novaski, O (2017) 'Proposal the application of DMAIC tools and value stream mapping under the perspective of the lean philosophy for process improvement: a case study', *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 14, n. 4, pp. 556-566. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2017.v14.n4.a11>
- Purba, HH, Nindiani, A, Trimarjoko, A, Jaqin, C, Hasibuan, S, Tampubolon, S (2021) 'Increasing Sigma levels in productivity improvement and industrial sustainability with Six Sigma methods in manufacturing industry: A systematic literature review', *Advances in Production Engineering And Management* v. 16, n. 3, pp. 307–325. <https://doi.org/10.14743/APEM2021.3.402>
- Pyzdek, T, Keller, PA (2010) *The Six Sigma handbook : a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels*. McGraw-Hill Companies.
- Salah, S, Rahim, A, Carretero, JA (2010) 'The integration of Six Sigma and lean management', *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 1, n. 3, pp. 249–274. <https://doi.org/10.1108/20401461011075035>
- Smith, B (1993) 'Six-sigma design (quality control)', *IEEE Spectrum*, v. 30, pp. 43–47. <https://doi.org/10.1109/6.275174>
- Ulewicz, R, Kleszcz, D, Ulewicz, M (2021) 'Implementation of Lean Instruments in Ceramics Industries', *Management Systems in Production Engineering*, v. 29, n. 3, pp. 203-207. <https://doi.org/10.2478/mspe-2021-0025>
- Werkema, C (2011) *DFLSS - Design For Lean Six Sigma - Ferramentas básicas usadas nas etapas D e M do DMADV*. 2nd edição. Elsevier Editora Ltda.
- Werkema, C (2012a) *Criando a Cultura Lean Seis Sigma* (2o ed). Elsevier Editora Ltda.
- Werkema, C (2012b) *Métodos PDCA e Demaic e Suas Ferramentas Analíticas*. Elsevier Editora Ltda.
- Wheeler, DJ (2004) *The Six Sigma Practitioner's Guide to Data Analysis*. SPC Press.
- Zanezi, AC, Carvalho, MM (2022) 'How project management principles affect Lean Six Sigma program and projects: a systematic literature review', *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, v. 20, n. 1. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.1564.2023>