

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

BEATRIZ SEIXAS ALVES

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA PARA REDUÇÃO DA VARIABILIDADE
NA MEDIÇÃO DO PARÂMETRO COR EM RESINAS DE PVC**

Maceió
2024

BEATRIZ SEIXAS ALVES

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA PARA REDUÇÃO DA VARIABILIDADE
NA MEDIÇÃO DO PARÂMETRO COR EM RESINAS DE PVC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dra. Albanise Enide da Silva.

Maceió
2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4 –661

A474a Alves, Beatriz Seixas.
Aplicação da metodologia PDCA para redução da variabilidade na medição do parâmetro cor em resinas de PVC / Beatriz Seixas Alves. - 2024.
67 f : il.

Orientadora: Albanise Enide da Silva.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoa, Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 65-67.

1. Policloreto de vinila. 2. Metodologia PDCA. 3. Gestão da qualidade. 4. Variabilidade de cor. I. Título.

CDU: 66.03

Folha de Aprovação

BEATRIZ SEIXAS ALVES

Aplicação da metodologia PDCA para redução da variabilidade na medição do parâmetro cor em resinas de PVC

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **ALBANISE ENIDE DA SILVA**
Data: 22/11/2024 18:50:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora: Profa. Dra. Albanise Enide da Silva
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 **VANIA DE LOURDES DAS GRAÇAS TELES**
Data: 19/11/2024 20:58:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Vânia de Lourdes das Graças Teles
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 **SORAYA LIRA ALENCAR**
Data: 21/11/2024 21:14:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Soraya Lira Alencar
(Universidade Federal de Alagoas)

RESUMO

O PVC, ou Policloreto de Vinila, é um dos plásticos sintéticos mais produzidos no mundo. Inicialmente, ele é obtido como um pó branco sem utilidade industrial direta, precisando de aditivos químicos para adquirir propriedades como flexibilidade ou rigidez, essenciais para suas variadas aplicações industriais. Cada resina de PVC tem especificações técnicas rigorosas, incluindo parâmetros como granulometria, densidade volumétrica (BD), viscosidade (VK), materiais voláteis (MV), estabilidade térmica (ET), MVC residual (MVCr) e cor. A cor, crucial na avaliação da qualidade, é medida em termos de luminosidade (“L”), vermelho/verde (“a”) e amarelo/azul (“b”), com diferentes classificações, como: cristal, transparente, opaca e *off*. O trabalho foi realizado numa fábrica real de PVC, chamada ficticiamente de “PVCFlex”, onde a resina “SP 057RA”, utilizada na fabricação de forros de PVC, é analisada, diariamente, pelos operadores de campo e pelos analistas do Laboratório de Controle de Qualidade (LCQ). No entanto, foram observadas discrepâncias significativas entre essas medições. O presente trabalho teve como objetivo identificar as potenciais causas e reduzir essa variabilidade. Para isso, foi aplicada a metodologia PDCA (Plan-Do-Check-Act) com o uso de ferramentas de qualidade (diagrama de Ishikawa, matriz de causa e efeito, matriz de esforço x impacto e *5W2H*) e ferramentas estatísticas (relatório resumo, análise de correlação, equações de regressão e cartas de controle). Dessa forma, foi possível identificar as possíveis causas que colaboraram para a diferença de medição, como a falta de padronização e violação dos procedimentos operacionais, ausência de calibração dos equipamentos, diferenças entre os equipamentos de medição, entre outros. A partir da identificação dessas causas e com a priorização das ações apontadas na matriz esforço x impacto, foi realizado um plano de ação que contemplou, principalmente, o treinamento da equipe e a padronização dos procedimentos de análise de cor e calibração dos equipamentos. Com essas medidas conseguiu-se uma redução de 20% da variabilidade na medição do parâmetro cor. Também foram desenvolvidas equações de regressão com o objetivo de converter os valores obtidos no campo para os equivalentes medidos no LCQ.

Palavras-chave: Policloreto de vinila, PDCA, gestão da qualidade, variabilidade de cor.

ABSTRACT

PVC, or Polyvinyl Chloride, is one of the most produced synthetic plastics in the world. Initially, it is obtained as a white powder without direct industrial use, requiring chemical additives to acquire properties such as flexibility or rigidity, essential for its various industrial applications. Each PVC resin has strict technical specifications, including parameters such as grain size, bulk density (BD), viscosity (VK), volatile materials (MV), thermal stability (ST), residual MVC (MVCr) and color. Color, crucial in quality assessment, is measured in terms of brightness ("L"), red/green ("a") and yellow/blue ("b"), with different classifications such as: crystal, transparent, opaque and off. The work was carried out in a real PVC factory, fictitiously called "PVCFlex", where the resin "SP 057RA", used in the manufacture of PVC liners, is analyzed daily by field operators and analysts from the Quality Control Laboratory (LCQ). However, significant discrepancies were observed between these measurements. The present work aimed to identify potential causes and reduce this variability. For this, the PDCA methodology (Plan-Do-Check-Act) was applied with the use of quality tools (Ishikawa diagram, cause and effect matrix, stress x impact matrix and 5W2H) and statistical tools (summary report, correlation analysis, regression equations and control charts). Thus, it was possible to identify the possible causes that contributed to the measurement difference, such as lack of standardization and violation of operational procedures, absence of calibration of equipment, differences between measuring equipment, among others. From the identification of these causes and prioritization of actions in the effort x impact matrix, an action plan was carried out that mainly contemplated the training of the team and the standardization of color analysis procedures and calibration of equipment. With these measures, a 20% reduction in the variability of color parameter measurement was achieved. Regression equations were also developed with the objective of converting the values obtained in the field to the equivalents measured in LCQ.

Keywords: Polyvinyl chloride, PDCA, quality management, color variability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática das espécies presentes na morfologia de partícula do PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão.....	15
Figura 2 - Representação estrutural do PVC	15
Figura 3 - Demanda por segmento de mercado em 2022.....	16
Figura 4 - Síntese do processo de polimerização em cadeia, via radicais livres: a) reação iniciada com o monômero cloreto de vinila + iniciadores, e propagação a partir do radical intermediário; b) formação do PVC	17
Figura 5 - Síntese do processo de formação do PVC	19
Figura 6 - Representação da estrutura básica da partícula de PVC obtida por polimerização em suspensão.....	19
Figura 7 - Equipamento para análise de densidade aparente.....	21
Figura 8 - Presença de fish eyes em PVC.....	24
Figura 9 - Análise de materiais voláteis em resinas de PVC.....	26
Figura 10 - Coordenadas de cor do objeto no espaço de cor “L”, “a” e “b”	28
Figura 11 - Ciclo PDCA	31
Figura 12 - Rampa de melhoria PDCA	32
Figura 13 - Diagrama de Ishikawa para um problema hipotético de um produto com defeito	38
Figura 14 - Matriz de causa e efeito aplicada à um problema em uma indústria petroquímica	39
Figura 15 - Matriz de esforço x impacto	41
Figura 16 - Ponto de amostragem de cor.....	43
Figura 17 - Gráficos de variação temporal: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”	46
Figura 18 - Relatório resumo: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”	48
Figura 19 - Diagrama de Ishikawa abordando a variabilidade nos valores de medição de cor entre os operadores de campo e o laboratório de controle de qualidade nas resinas de PVC ..	49
Figura 20 – Colorímetro	51
Figura 21 - Espectrofotômetro de bancada.....	51
Figura 22 - Matriz de causa e efeito	53
Figura 23 - Matriz de esforço e impacto.....	53
Figura 24 - Procedimento operacional padrão para leitura do parâmetro cor utilizando o colorímetro Miniscan.....	55
Figura 25 - Lição de um ponto para o procedimento operacional de leitura do parâmetro cor	

utilizando o colorímetro miniscan	56
Figura 26 - Gráficos de variação temporal: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”	58
Figura 27 - Correlação: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”	60
Figura 28 - Equação de regressão: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”	61
Figura 29 - Cartas de controle: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”	62
Figura 30 - Proposta de modificação de configuração no SDCCD	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de especificação para os parâmetros da resina “SP 057RA”	29
Tabela 2 - Limites de especificação para o parâmetro cor em resinas “SP 057RA”	30
Tabela 3 - Valores de média dos dados de medição do parâmetro cor no campo, laboratório de controle de qualidade e diferença entre as médias	49
Tabela 4 - Valores de média dos dados de medição do parâmetro cor no campo, laboratório de controle de qualidade, diferença entre as médias e porcentagem de redução da variabilidade	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Natureza das possíveis fontes de problemas para o Diagrama de Ishikawa	37
Quadro 2 - Exemplo de aplicação da ferramenta 5W2H.....	42
Quadro 3 - Planilha “5W2H”	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Geral	12
2.2	Específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Histórico de obtenção do Policloreto de Vinila (PVC)	13
3.2	O Policloreto de Vinila (PVC)	14
3.3	Processo de obtenção do Policloreto de Vinila (PVC)	16
3.4	Características das resinas de PVC	20
3.4.1	Densidade aparente (BD)	20
3.4.2	Porosidade (CPA).....	21
3.4.3	Viscosidade.....	22
3.4.4	Géis.....	23
3.4.5	Contaminação (Cont).....	25
3.4.6	Materiais voláteis.....	25
3.4.7	MVC residual (MVCr).....	26
3.4.8	Cor	27
3.5	O grade “SP 057RA”	28
3.6	Metodologia <i>plan-do-check-act</i> (PDCA)	30
3.6.1	<i>Plan</i> – Planejar.....	32
3.6.1.1	<i>Identificação do problema</i>	32
3.6.1.2	<i>Observação</i>	33
3.6.1.3	<i>Análise</i>	34
3.6.1.4	<i>Plano de ação</i>	34
3.6.2	<i>Do</i> – Fazer.....	35
3.6.3	<i>Check</i> – Checar.....	35
3.6.4	<i>Act</i> – Agir.....	36
3.6.5	Ferramentas de qualidade.....	36
3.6.5.1	<i>Diagrama de Ishikawa</i>	36
3.6.5.2	<i>Matriz de causa e efeito</i>	38
3.6.5.3	<i>Matriz de esforço x impacto</i>	39

3.6.5.4	<i>Ferramenta 5W2H</i>	41
4	METODOLOGIA	43
4.1	Aplicação da metodologia <i>plan-do-check-act</i> (PDCA)	44
4.1.1	Aplicação da 1ª etapa: <i>plan</i>	44
4.1.2	Aplicação da 2ª etapa: <i>do</i>	45
4.1.3	Aplicação da 3ª etapa: <i>check</i>	45
4.1.4	Aplicação da 4ª etapa: <i>act</i>	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	<i>Plan</i>: 1ª etapa	46
5.2	<i>Do</i>: 2ª etapa	54
5.3	<i>Check</i>: 3ª etapa	57
5.4	<i>Act</i>: 4ª etapa	62
6	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

O PVC (Policloreto de Vinila) é um termoplástico de destaque devido à sua versatilidade. Suas características podem ser amplamente ajustadas conforme a aplicação, permitindo seu uso em uma variedade de setores da economia, como construção civil, indústria automotiva, embalagens e dispositivos médicos (GAO et al., 2022). Segundo a Braskem (2021), a produção global de PVC alcançou 49 milhões de toneladas em 2021, o maior volume já registrado, enquanto a demanda mundial pelo polímero tem previsão de crescer 4,5% entre 2020 e 2025.

A versatilidade do PVC deve-se à sua adaptabilidade a diversos processos de moldagem, como injeção, extrusão e calandragem. É mundialmente utilizado devido às suas propriedades mecânicas e físicas, resistência à abrasão, compatibilidade com aditivos, retardância de chamas e baixo custo, tornando-o ideal para aplicações de longo ciclo de vida (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

Segundo Pereira (2005), cerca de 80% do PVC consumido globalmente é produzido através da polimerização do Monômero Cloreto de Vinila (MVC) em suspensão, dando origem a um pó fino de cor branca. No contexto do PVC, grades referem-se às diferentes formulações ajustadas conforme a aplicação, podendo ser rígidas ou flexíveis. Cada grade é submetida a rigoroso controle de qualidade, com especificações precisas para cada parâmetro de qualidade. Entre esses parâmetros, a cor da resina é especialmente relevante em aplicações que exigem boa estética, como a fabricação de produtos visíveis, a exemplo dos forros de PVC. A cor, definida como a propriedade dos materiais de absorver e refletir luz, é caracterizada por tonalidade, luminosidade e saturação. Para sua medição, utilizam-se as variáveis “L” (luminosidade), “a” (vermelho/verde) e “b” (amarelo/azul).

Cada amostra desse parâmetro é analisada duas vezes: pelos operadores no campo, para rápida identificação de desvios, e pelo Laboratório de Controle de Qualidade. Porém, em uma planta de PVC, ficticiamente chamada "PVCFlex", foi observada variabilidade entre essas medições para a resina "SP 057RA" ("SP" indica polimerização em suspensão, "057" diferencia tipos de resina, e "RA" refere-se à alta rigidez), usada na fabricação de forros, onde o parâmetro cor é crucial por sua aplicação visível, exigindo uniformidade para atender aos requisitos estéticos e funcionais. Este trabalho buscou reduzir essas discrepâncias utilizando a metodologia PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), que aprimora processos e assegura maior consistência nas medições.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Aplicação de ferramentas da qualidade para avaliação da variabilidade dos valores de medição do parâmetro cor entre o campo e o laboratório de controle de qualidade para a resina “SP 057RA” da empresa “PVCflex”.

2.2 Específicos

- Identificar as principais causas da variabilidade na medição de cor através de análise detalhada do processo atual;
- Aplicar a metodologia PDCA para planejar e implementar ações corretivas que visem à padronização das medições;
- Monitorar e controlar as mudanças implementadas para garantir a redução contínua da variabilidade;
- Avaliar os resultados obtidos e ajustar o plano de ação conforme necessário para otimizar o processo de medição de cor.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico de obtenção do Policloreto de Vinila (PVC)

De acordo com Nass (1986), no século XIX, o Monômero Cloreto de Vinila (MVC) foi descoberto pelo químico alemão Justus von Liebig. À temperatura ambiente, o MVC era um gás com propriedades intrigantes. Tal descoberta se deu pela reação do dicloroetileno juntamente com o hidróxido de potássio em uma solução aquosa. Pouco tempo depois, um de seus alunos, Victor Regnault reparou a formação de um pó branco quando o cloreto de vinila foi exposto à luz solar. Inicialmente, especulou-se que esse pó poderia ser poli(cloreto de vinila), mas estudos posteriores revelaram que era, na verdade, poli(cloreto de vinilideno). Em 1860, A. W. Hoffman foi o pioneiro na descrição da polimerização de haletos de vinila ao observar que o brometo de vinila se transformava em uma massa esbranquiçada sem alteração em sua composição química.

Porém, só em 1872, Eugen Baumann conseguiu polimerizar o cloreto de vinila (MVC) e obter o policloreto de vinila (PVC). Ele descreveu como a luz induzia a transformação do cloreto de vinila em um sólido branco, cujas propriedades coincidiam com as do PVC. Passados 40 anos, na Alemanha, Fritz Klatte desenvolveu métodos para a produção em larga escala, empregando a rota do acetileno e a polimerização por suspensão, através da reação do acetileno com cloreto de hidrogênio (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

Em 1912, Fritz Klatte, trabalhando na indústria Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, desenvolveu o processo básico para a produção comercial de PVC. Ele criou a rota do acetileno, que envolve a reação entre acetileno e cloreto de hidrogênio. Esta descoberta foi crucial para a indústria alemã, que precisava utilizar o acetileno excedente, originado do carbureto de cálcio usado anteriormente na iluminação pública. Em 1915, Klatte também descobriu a polimerização do PVC utilizando radicais livres, com iniciadores à base de peróxidos orgânicos. A indústria não conseguiu desenvolver equipamentos adequados para processar o PVC devido à sua instabilidade térmica. Isso resultou na suspensão das patentes relacionadas, permitindo que outras empresas começassem a experimentar a produção de PVC (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

Na Segunda Guerra Mundial, durante a crise da borracha, o inventor estadunidense Lonsbury Semon misturou tricresil fostato ou dibutil ftalato – ambos plastificantes – ao PVC e obteve um produto com características altamente flexíveis. O qual pôde substituir a

borracha, sendo utilizado para recobrir fios e cabos elétricos (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

O problema da baixa estabilidade térmica do PVC foi resolvido com o desenvolvimento de estabilizantes térmicos, compostos organometálicos e sais de chumbo, cádmio, bário, zinco, cálcio e estanho. Esses aditivos estabilizam os intermediários responsáveis pela degradação térmica do material (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

Nos anos 20, os Estados Unidos iniciaram sua produção comercial, seguido dos alemães nos anos 30 e dos britânicos nos anos 40. Já no Brasil, teve início em 1954, fruto da parceria entre a B. F. Goodrich e as Indústrias Químicas Matarazzo. De acordo com dados do Instituto do PVC (2023), a produção desse polímero tende a crescer cada vez mais. Em 2022, o consumo foi de 1,024 milhões de toneladas, majoritariamente empregado ao setor de construção civil, e capacidade produtiva de 1,009 milhões de toneladas/ano.

3.2 O Policloreto de Vinila (PVC)

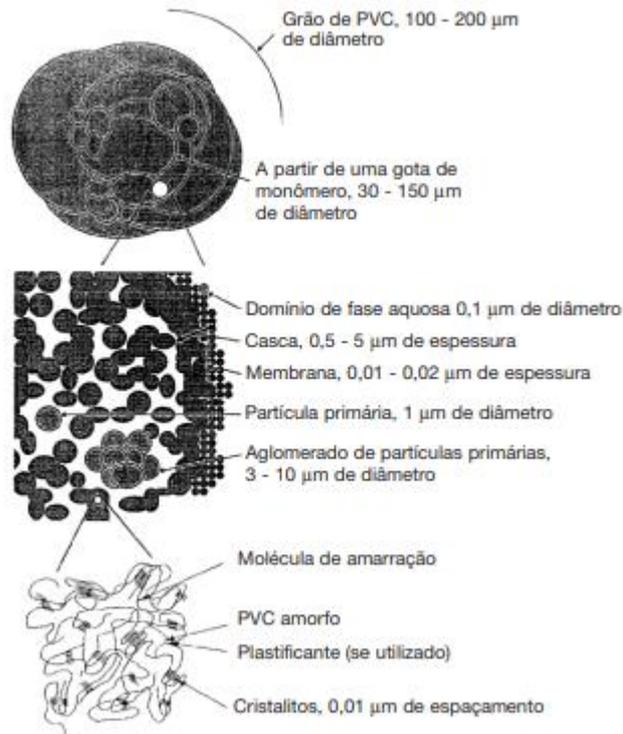
Conforme Canevarolo (2013), o PVC é um polímero de baixa cristalinidade – possui uma estrutura menos ordenada e organizada em comparação com polímeros altamente cristalinos – podendo sofrer variação na cristalinidade em função dos parâmetros de polimerização. Na maioria das vezes, polímeros comerciais têm uma cristalinidade de 8 a 10%. No entanto, com condições especiais, esse valor pode aumentar significativamente. Por exemplo, polímeros produzidos a 5° C apresentam cristalinidade de aproximadamente 15%, enquanto aqueles polimerizados a -75° C podem alcançar cerca de 30%.

De acordo com Summers (1997), White polimerizou cloreto de vinila a -78° C no estado sólido com complexos de ureia, obtendo um polímero com cerca de 65% de cristalinidade. Este polímero foi insolúvel em todos os solventes, inclusive em ciclohexanona superaquecida, e não fundia abaixo de 400° C. Porém, felizmente, polímeros comerciais têm baixo grau de cristalinidade, o que facilita seu processamento (essencial para aplicações que exigem materiais maleáveis, como tubos e cabos). Caso contrário, o PVC se comportaria como o produzido por White, tornando seu processamento impossível.

Além disso, a baixa cristalinidade contribui para uma maior transparência (importante em aplicações como filmes e revestimentos), melhora a resistência ao impacto e facilita a adesão de aditivos. Durante o processamento do PVC, parte da cristalinidade permanece. Essa cristalinidade residual age como ligações cruzadas entre as moléculas, o que fortalece o

material e melhora sua resistência, especialmente em aplicações flexíveis. Na Figura 1, têm-se a representação esquemática das partículas de PVC formadas pelo processo de polimerização em suspensão.

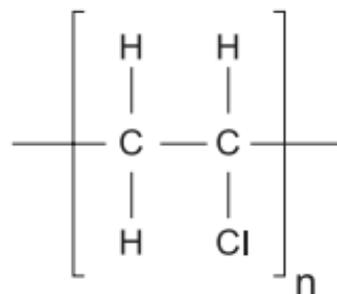
Figura 1 - Representação esquemática das espécies presentes na morfologia de partícula do PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão



Fonte: Summers, 1997

Como mostrado na Figura 2, o PVC contém um átomo de cloro em sua estrutura, classificando-o como um polímero clorado. Esse átomo de cloro confere ao PVC excelentes propriedades mecânicas (devido às fortes forças intermoleculares resultantes de sua polaridade) ao passo que atua como um agente retardador de chama.

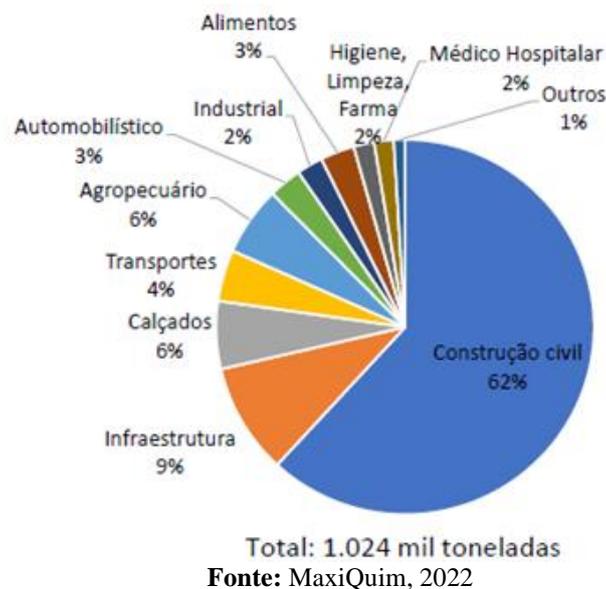
Figura 2 - Representação estrutural do PVC



Fonte: Rodolfo Jr.; Nunes; Ormanji, 2006

Na Figura 3, nota-se que a versatilidade do PVC se reflete em suas diversas aplicações. Na construção civil, é amplamente utilizado em tubos e conexões para sistemas de encanamento e esgoto, graças à sua resistência química e facilidade de instalação. Na indústria de revestimentos, o PVC é utilizado em pisos e revestimentos de paredes por sua durabilidade e resistência a produtos químicos e impactos. Além disso, o PVC é comum em aplicações de embalagens, como garrafas e filmes, devido à sua capacidade de ser moldado em diferentes formas e tamanhos. Também utilizado no setor hospitalar (em bolsas de sangue, luvas e seringas), de calçados, brinquedos, entre outros. É válido ressaltar que se trata de um material reciclável – seja por reciclagem mecânica, energética ou química – e com longo tempo de vida útil – cerca de 20 anos – (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

Figura 3 - Demanda por segmento de mercado em 2022

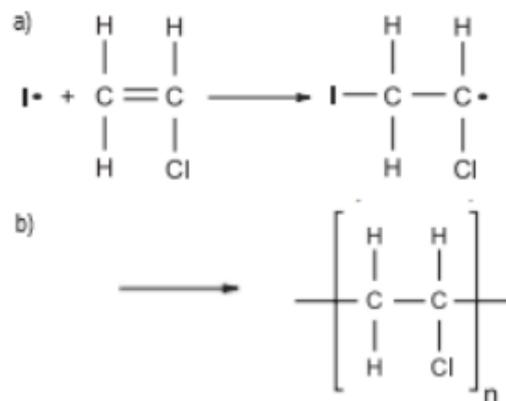


3.3 O processo de obtenção do Policloreto de Vinila (PVC)

O processo de polimerização pode ser obtido a partir de três rotas, que são: em cadeia (aplicável a todos os monômeros vinílicos), em etapas (aplicável a diversos plásticos de engenharia) e por abertura de anel (aplicável a alguns tipos de poliamidas). Porém, o processo de polimerização em cadeia, via radicais livres, é aplicável a todos os monômeros vinílicos e o mais utilizado em larga escala, devido à sua versatilidade, eficiência e facilidade de controle. Ele envolve a formação de uma cadeia polimérica completa pela instabilização da dupla ligação de um monômero, que reage sucessivamente com as duplas ligações de outras moléculas de monômero (CANEVAROLO, 2013).

A polimerização em cadeia ocorre em três etapas: iniciação, propagação e terminação. Na iniciação, peroxidocarbonatos, peróxidos de diacila ou ésteres peróxidos se decompõe sob aquecimento, gerando espécies altamente energéticas que reagem com as duplas ligações dos monômeros. Na segunda etapa, a propagação, o radical monomérico gerado na reação transfere seu radical para outras moléculas de monômero, formando macro-radicais em sequência. E, por fim, na terminação, a qual pode ser por desproporcionamento (dois macro-radicais formam duas macromoléculas) ou combinação (formada somente uma macromolécula), há a estabilização dos macro-radicais. A síntese do processo é mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Síntese do processo de polimerização em cadeia, via radicais livres: a) reação iniciada com o monômero cloreto de vinila + iniciadores, e propagação a partir do radical intermediário; b) formação do PVC



Fonte: Rodolfo Jr.; Nunes; Ormanji, 2006

O PVC é produzido com 57% de matérias-primas derivadas do sal marinho ou da salgema e 43% de fontes não renováveis, como petróleo e gás natural. Cerca de 80% do PVC consumido globalmente é produzido através da polimerização do MVC em suspensão, a qual oferece vantagens como a fácil separação dos produtos, controle eficiente da temperatura e a obtenção de baixos níveis de impurezas. Esse processo dá origem a um pó fino de cor branca (PEREIRA, 2005).

O processo de polimerização em suspensão é realizado em batelada para garantir controle preciso, qualidade uniforme e flexibilidade na produção. O reator, constantemente agitado, é carregado com: água desmineralizada para evitar impurezas; MVC disperso em gotas de 30 a 150 μm ; um iniciador solúvel no monômero para que a polimerização ocorra dentro das gotas em suspensão por meio de reações em cadeia via radicais livres; e, agentes dispersantes – o primário, controla a formação e o tamanho das gotas de monômero em

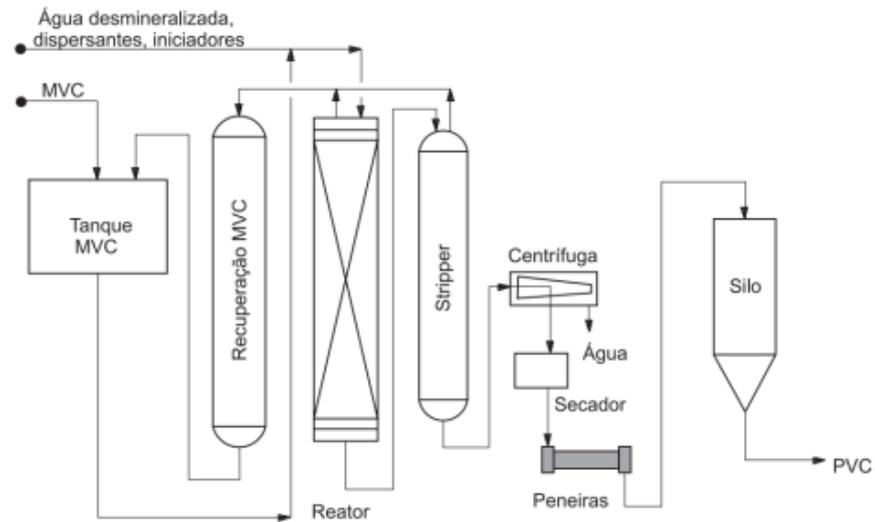
suspensão, e o secundário, controla a porosidade da partícula – (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Inicialmente, o reator é aquecido para decompor o iniciador e formar radicais livres, permitindo a polimerização das gotículas de monômero. Trata-se de uma reação exotérmica, controlada pelo condensador de refluxo, que condensa o MVC e aumenta o rendimento, e pela circulação de água na camisa do reator. O PVC, insolúvel no monômero, precipita em partículas menores que 1 micrômetro dentro das gotas de monômero. À medida que o MVC é consumido, a pressão no reator diminui, e a reação é finalizada com a adição de estabilizante quando a conversão atinge entre 75% e 95%, conforme o *grade*. O polímero obtido, em forma de lama (PVC + água), passa por um processo de *stripping* com vapor sob pressão para remover o MVC residual (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

A lama é direcionada para tanques que alimentam continuamente centrífugas, que reduzem a umidade do produto de 70% para 20%. O bolo úmido (PVC com 20% de umidade) segue para a secagem, enquanto que o licor das centrífugas é armazenado para ser utilizado em lavagem de áreas e equipamentos (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

O bolo úmido alimenta o secador flash, um secador tubular vertical onde uma corrente de ar quente em fluxo ascendente arrasta o PVC até ciclones. O tempo de residência no secador é aproximadamente 3 segundos e a umidade é reduzida a 2%~4%. Os ciclones alimentam o secador de leito fluidizado, um secador horizontal dividido em três zonas de secagem onde uma corrente de ar quente fluidiza o PVC. A umidade do PVC é reduzida para valores abaixo de 0,3% (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

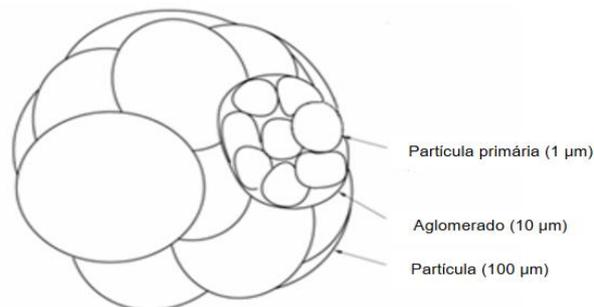
Após os secadores o PVC é encaminhado para as peneiras rotativas (que removem partículas grosseiras), enquadrando sua granulometria. Por fim, o PVC é encaminhado, através do sistema de transporte pneumático, para a área de armazenamento e ensaque de produto acabado, sendo posteriormente distribuída aos clientes de diversas maneiras (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006). A Figura 5 sintetiza o processo produtivo.

Figura 5 - Síntese do processo de formação do PVC

Fonte: Rodolfo Jr.; Nunes; Ormanji, 2006

Essas resinas de PVC possuem partículas com diâmetro entre 50 e 200 μm , formadas por aglomerados de partículas primárias de aproximadamente 1 μm . Os vazios, conforme a Figura 6, entre esses aglomerados conferem à resina sua porosidade característica, permitindo a incorporação de aditivos no PVC (SAEKI; EMURA, 2002).

O termo morfologia descreve a organização das estruturas físicas das partículas de PVC. Definida durante a polimerização (as principais variáveis de processo que afetam as características das partículas são: temperatura, conversão, sistema dispersante primário e secundário, agitação, razão monômero/água e presença de oxigênio), essa morfologia afeta diretamente a processabilidade e as propriedades físicas do produto final (RODOLFO JR.; NUNES; ORMANJI, 2006).

Figura 6 - Representação da estrutura básica da partícula de PVC obtida por polimerização em suspensão

Fonte: Saeki e Emura, 2002

3.4 Características das resinas de PVC

Cada tipo de *grade* de PVC é projetado para atender a requisitos específicos e, portanto, possui uma série de parâmetros de especificação com limites inferiores e superiores bem definidos. Eles são estabelecidos para garantir que a resina atenda a normas de qualidade e desempenho estabelecidas pela Especificação do Produto (EP). O cumprimento desses limites assegura que a resina está apta para aplicações específicas, como resistência, flexibilidade e processabilidade.

O Certificado de Qualidade (CQ) atesta que a resina atende a essas especificações, garantindo que ela seja adequada para seu uso previsto. De acordo com Rodolfo Jr.; Nunes; Ormanji (2006), as principais características são: Densidade aparente (BD), porosidade (CPA), viscosidade (VK), géis, contaminação (Cont), materiais voláteis (MV), MVC residual (MVCr) e cor.

O *grade* “SP 057RA” produzido na empresa “PVCFlex” empregado na fabricação de perfis leves, principalmente em forros de PVC, possui características específicas para cada um desses parâmetros de qualidade. No código “SP 057RA”, o "SP" indica que a resina foi produzida por polimerização em suspensão, o número "057" serve para diferenciar as resinas de acordo com suas características, e o "RA" significa alta rigidez, indicando que essa resina é adequada para aplicações que demandam maior resistência mecânica.

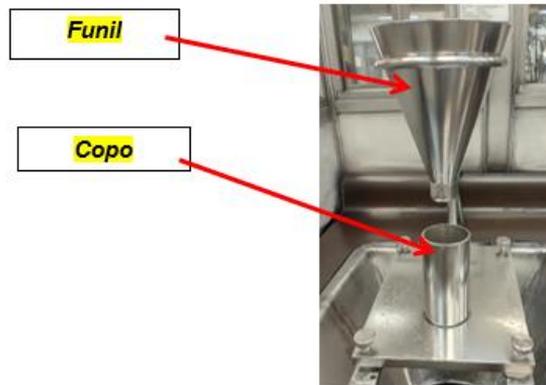
3.4.1 Densidade aparente (BD)

A densidade aparente, também conhecida como *bulk density* (BD), refere-se à massa por unidade de volume de um material a granel, incluindo o espaço vazio entre as partículas. É crucial para determinar a quantidade de resina que um volume pode acomodar e está diretamente relacionada ao desempenho dos equipamentos de processamento. Impactada por fatores morfológicos, incluindo o tamanho e a distribuição das partículas, a porosidade, e as características do formato e da rugosidade superficial das partículas. Para resinas comerciais, seus valores variam entre 0,45 g/cm³, para resinas porosas usadas em aplicações flexíveis, até 0,60 g/cm³, para resinas destinadas a produtos rígidos moldados diretamente do pó (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Esse parâmetro é determinado da seguinte maneira, conforme ilustrado na Figura 7: Um funil de dimensões fixas é preenchido com resina em excesso, que escoar livremente para um copo de tamanho determinado. Após remover o excesso da superfície do copo, pesa-se o

recipiente para determinar a massa de resina contida. A relação entre essa massa e o volume mede a densidade aparente da resina, como demonstrado na Equação 1.

Figura 7 - Equipamento para análise de densidade aparente



Fonte: Autora, 2024

$$\text{Densidade aparente (BD)} = \frac{M_1 - M_2}{100} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right), \quad (\text{Equação 1})$$

onde M_1 = Massa do copo de medição mais o polímero;

M_2 = massa do copo de medição

Fonte: Dados internos fornecidos por uma empresa do setor de PVC, 2023

A densidade aparente é crucial para as aplicações do PVC rígido, frequentemente processado a partir de composto em pó. Um aumento na densidade aparente da resina eleva a produtividade dos equipamentos de processamento, pois proporciona maior rendimento no transporte de massa por unidade de volume (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

3.4.2 Porosidade (CPA)

A absorção de plastificante à frio, do inglês *absorption plasticizer for cold* (CPA), pode ser definida como a razão entre o volume de vazios de um meio poroso e o volume total desse meio. Em resumo, refere-se à capacidade dessas resinas de incorporar plastificantes sem a necessidade de aquecimento, tendo extrema importância para as resinas de aplicações em produtos flexíveis, a porosidade uniforme e a rápida absorção de plastificantes e outros aditivos são essenciais para garantir a produtividade e a qualidade dos compostos de PVC flexível, além de facilitar a remoção do MVC residual. É diretamente influenciada pelas condições de polimerização, especialmente pelo equilíbrio e pelas quantidades dos sistemas

dispersantes primário e secundário, além da agitação aplicada no reator. É crucial que a resina de PVC apresente um nível de porosidade uniforme entre as partículas. Partículas com baixa porosidade podem resultar em pontos duros no produto final (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Uma das técnicas laboratoriais utilizadas para analisar a absorção de plastificante em resinas de PVC é a absorção de plastificante à frio com centrifugação. Este método consiste em saturar a resina de PVC com um plastificante, geralmente o Di Octil Ftalato (DOP). Após a saturação, o próximo passo é remover o excesso de plastificante que não foi absorvido pelas partículas da resina. Isso é realizado por meio da centrifugação, onde a amostra é submetida a altas rotações em um centrifugador.

A força centrífuga aplicada faz com que o plastificante livre seja expelido, enquanto as partículas da resina, com suas características de porosidade, retêm a quantidade desejada de DOP. Uma vez completada a centrifugação, o excesso de plastificante é retirado, e o ganho de massa da resina é determinado. Essa medição é crucial, pois permite calcular a porcentagem de plastificante absorvido pela resina. O resultado final é expresso em termos de partes de DOP absorvido por 100 partes de resina (p.c.r.), o que fornece uma medida precisa da eficiência da absorção (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

3.4.3 Viscosidade (VK)

O peso molecular das resinas de PVC é geralmente caracterizado por parâmetros que medem a viscosidade do polímero em solução diluída. Comumente, as resinas de PVC são especificadas com base na viscosidade inerente e no valor K (VK). Esses parâmetros são fundamentais para entender o comportamento do PVC durante o processamento e suas propriedades finais. A viscosidade inerente fornece uma indicação do peso molecular, enquanto o VK, que é uma medida da viscosidade do PVC em uma solução diluída, ajuda a classificar a resina de acordo com suas aplicações específicas. Essa caracterização é essencial para garantir que o material atenda às exigências de desempenho em diversas aplicações. Também está interligado ao grau de polimerização do PVC, ou seja, é um indicador do tamanho da cadeia polimérica, uma espécie de identidade da resina (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

É um indicador crítico nas resinas, influenciando diversas propriedades do material. Primeiramente, há uma relação direta com as propriedades mecânicas da resina: quanto maior o VK, maiores são essas propriedades mecânicas. Isso ocorre porque um valor elevado indica

cadeias poliméricas mais longas, que proporcionam maior resistência e rigidez ao material. Além disso, também afeta a processabilidade das resinas. Resinas com um VK mais baixo tendem a ter um índice de fluidez maior, facilitando sua manipulação durante processos de moldagem e extrusão. Isso se deve ao fato de que cadeias poliméricas mais curtas apresentam menor viscosidade, permitindo que a resina flua mais facilmente sob pressão. Por fim, outra consequência é sua influência na temperatura de fusão do PVC. Resinas com um VK menor requerem temperaturas mais baixas para alcançar a fusão da cadeia polimérica, o que pode ser vantajoso em aplicações onde o controle da temperatura é crítico para evitar degradação térmica (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

A temperatura da reação de polimerização é um dos principais fatores de controle desse parâmetro em resinas de PVC. O aumento da temperatura de polimerização tem um efeito inverso sobre o VK: à medida que a temperatura sobe, o peso molecular da resina resultante tende a diminuir. Isso ocorre devido à natureza da reação de polimerização via radicais livres: em temperaturas mais elevadas, a taxa de decomposição dos iniciadores de polimerização aumenta, resultando em uma maior geração de espécies radicalares. Esses radicais livres, por sua vez, competem pelo monômero não reagido, levando a uma polimerização mais rápida e, conseqüentemente, à formação de cadeias poliméricas mais curtas (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

A determinação do VK em resinas de PVC é frequentemente realizada em laboratórios industriais usando viscosímetros capilares. O processo envolve dissolver o PVC em ciclohexanona, um solvente apropriado, e medir o tempo de fluxo da solução em comparação com o do solvente puro (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

3.4.4 Géis

Géis ou *fish eyes* são partículas duras que não se plastificam quando submetidas a condições específicas de processamento, gerando pontos infundidos, conforme observado na Figura 8. Os géis em resinas de PVC podem causar a formação de pontos de tensão no produto acabado, o que é uma preocupação significativa em termos de desempenho e qualidade. Essas falhas, que se manifestam como pequenos aglomerados ou bolhas, não apenas afetam a estética do produto, mas também comprometem suas propriedades mecânicas. Quando os géis estão presentes, eles criam regiões de concentração de tensão dentro da matriz polimérica. Isso pode resultar em fragilidade, tornando o material mais

suscetível a rachaduras ou quebras sob estresse mecânico. Além de que impacta visualmente a qualidade percebida do produto final (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Figura 8 - Presença de *fish eyes* em PVC



Fonte: Kanade, 2020

Sua ocorrência está intimamente relacionada às condições de polimerização, como a distribuição não homogênea do iniciador nas gotas de MVC durante a reação, essa distribuição irregular pode resultar em diferentes taxas de reação nas gotas de mistura, favorecendo a formação de partículas defeituosas (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Para controlar a ocorrência em uma unidade industrial, algumas medidas podem ser adotadas. Primeiramente, realizar lavagens periódicas dos reatores é fundamental para remover resíduos e prevenir contaminações. Além disso, a aplicação de agentes antiaderentes ajuda a evitar a aglutinação das partículas nas paredes do reator, melhorando a homogeneidade da mistura. O uso de antipolimerizantes inibe reações indesejadas, controlando assim a formação de géis. Por fim, a utilização de antiespumantes reduz a formação de espuma, minimizando a criação de bolhas indesejadas (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

O *fish eyes* é avaliado por meio de um processo que envolve a mistura de aditivos na resina de PVC, seguido da plastificação do composto em uma calandra. Durante esse processo, a resina é aquecida e moldada, permitindo que os aditivos se dispersem uniformemente. Após um período específico, um crepe é retirado para análise. Esse crepe é examinado utilizando um negatoscópio, que permite visualizar os infundidos.

3.4.5 Contaminação (Cont)

A contaminação em resinas de PVC é caracterizada por qualquer partícula que apresente cor ou forma diferente das partículas normais da resina, tornando-se visivelmente destacável durante a observação. Esse parâmetro de qualidade é fundamental a ser monitorado, pois pode impactar negativamente a estética e a funcionalidade do produto final nas indústrias transformadoras. Quando partículas contaminantes estão presentes, elas podem alterar a aparência do PVC, resultando em descolorações ou manchas que afetam a aceitação do produto no mercado. Além disso, a contaminação pode levar à formação de defeitos nas mercadorias acabadas, como fragilidade ou falhas mecânicas, comprometendo a integridade e a durabilidade do material (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

A contaminação em resinas de PVC pode ter origem em diversas fontes ao longo de todo o ciclo de vida do material, desde sua produção até o transporte, mistura e processamento. Entre os contaminantes mais comuns estão a resina queimada e plastificada, que ocorre devido a superaquecimento durante a produção, e ferrugem proveniente de equipamentos e estruturas. Além disso, a areia e resquícios de químicos utilizados na polimerização podem contaminar a resina, afetando suas propriedades. Fragmentos de casca do reator e arraste de partículas durante o transporte são também fontes significativas de contaminação (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

A análise de contaminação em resinas de PVC é frequentemente realizada por meio da observação visual e contagem manual das partículas escuras ou metálicas utilizando um negatoscópio. Além da abordagem visual, é possível utilizar equipamentos automatizados para a captação e análise de imagens. Esses sistemas avançados oferecem uma alternativa eficiente, permitindo a contagem e a estratificação dos contaminantes com base em características como forma, tamanho e coloração. Essa tecnologia não apenas aumenta a precisão da análise, mas também melhora a velocidade e a reprodutibilidade dos resultados (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

3.4.6 Materiais voláteis (MV)

Substâncias voláteis presentes em resinas de PVC são predominantemente compostas por umidade, mas também podem incluir vestígios de alguns aditivos utilizados durante o processo de polimerização. A presença dessas substâncias é uma preocupação, pois teores excessivos de voláteis podem causar diversos problemas na manipulação da resina. Quando os

níveis de voláteis são elevados, podem surgir dificuldades no empacotamento da resina, afetando a eficiência do armazenamento e transporte. Além disso, a resina pode apresentar dificuldades de fluxo seco e escoamento, comprometendo o processo de produção e aumentando o risco de falhas na operação resultados (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

A avaliação do teor de voláteis em resinas de PVC consiste em expor uma amostra a uma temperatura de 110° C em uma estufa de ar circulante, como observado na Figura 9. Durante esse processo, a amostra é aquecida, até que a perda de massa se torne constante. O teor de voláteis é então calculado com base na diferença entre a massa inicial e a massa final da amostra. Este valor é expresso em termos da porcentagem de massa perdida em relação à massa inicial (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Figura 9 - Análise de materiais voláteis em resinas de PVC



Fonte: Autora, 2024

3.4.7 MVC residual (MVCr)

O MVC residual indica o teor de monômero não reagido presente na partícula de PVC. O monômero cloreto de vinila (MVC) é amplamente reconhecido como um agente cancerígeno, o que torna a sua manipulação e produção uma preocupação significativa em termos de saúde ocupacional. Para mitigar os riscos associados a essa substância, as plantas industriais devem seguir normas rigorosas de segurança. Essas instalações implementam sistemas de monitoramento contínuo para garantir que os níveis de MVC no ambiente de trabalho permaneçam abaixo dos limites estabelecidos por legislações específicas. Isso inclui a utilização de equipamentos de controle ambiental e a realização de medições regulares, visando proteger os trabalhadores de uma exposição prejudicial (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Na reação de polimerização do cloreto de vinila, a conversão normalmente alcançada varia entre 75% e 95%. Isso significa que uma parte do monômero permanece não reagida na

forma de lama de PVC. Para otimizar o uso desse recurso, o MVC não reagido é recuperado na torre de *stripper*. Essa recuperação é fundamental, pois permite reintegrar o monômero ao processo produtivo, minimizando desperdícios (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

Seu teor é determinado em laboratório utilizando técnicas de cromatografia gasosa, que oferecem precisão na quantificação desse monômero não reagido. Esse teor é diretamente influenciado por várias condições, incluindo as práticas de polimerização, o pós-tratamento da resina e, especialmente, a sua porosidade interna. Resinas de PVC com maior porosidade interna facilitam a remoção do MVC residual, pois os espaços intersticiais permitem que o monômero escape mais facilmente durante os processos de tratamento. Por outro lado, resinas com baixa porosidade apresentam maior dificuldade na eliminação do MVC, resultando em teores mais altos de monômero residual. Isso pode afetar tanto a qualidade do produto final quanto à conformidade com as normas regulatórias (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

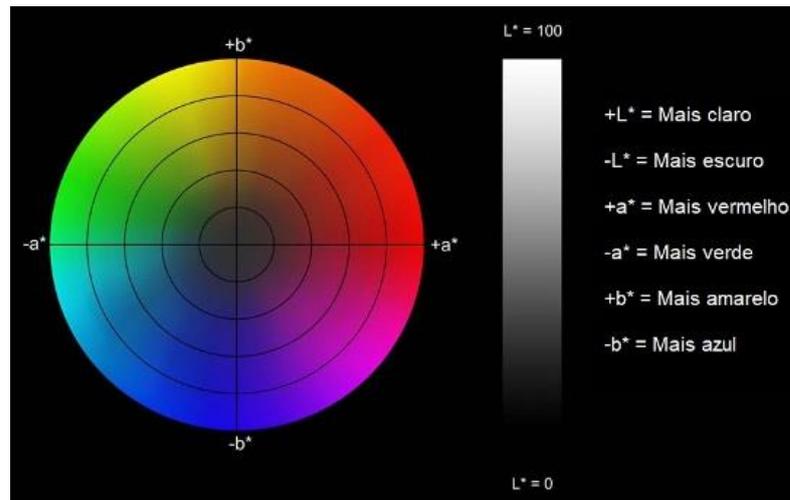
3.4.8 Cor

A cor é um importante parâmetro de qualidade para o *grade* “SP 057RA”, especialmente devido à sua aplicação em forros de PVC, onde a uniformidade é essencial tanto por razões estéticas quanto funcionais. A consistência e a vivacidade da cor desempenham um papel significativo na percepção de qualidade pelo cliente final. Esse parâmetro também serve como um indicador da degradação térmica da resina, que ocorre principalmente durante o processo de polimerização (na torre de *stripper*) e secagem (nos secadores *flash* e de leito fluidizado).

A cor é definida como a propriedade dos materiais de absorver e refletir luz, possuindo três atributos principais: tonalidade, luminosidade e saturação. Sua avaliação é realizada com o auxílio de equipamentos como espectrofotômetros ou colorímetros, que fornecem medições precisas baseadas em padrões internacionais, como o sistema CIELAB.

Nesse sistema, três variáveis são utilizadas: “L” (luminosidade, que varia de 0, para preto, a 100, para branco), “a” (que representa o eixo vermelho/verde, com valores positivos indicando vermelho e negativos indicando verde) e “b” (que indica o eixo amarelo/azul, com valores positivos indicando amarelo e negativos indicando azul), conforme a Figura 10. Esses equipamentos operam ao emitir feixes de luz controlados sobre a amostra e medir a quantidade de luz refletida em diferentes comprimentos de onda.

Figura 10 - Coordenadas de cor do objeto no espaço de cor “L”, “a” e “b”



Fonte: Dados internos fornecidos por uma empresa do setor de PVC, 2023

O colorímetro é um instrumento portátil mais simples, projetado para medir a cor com base em três parâmetros principais: luminosidade, tonalidade e saturação. Ele funciona comparando a cor da amostra com um padrão pré-estabelecido. Embora seja eficiente para medições rápidas e práticas, o colorímetro é menos preciso do que o espectrofotômetro, principalmente quando se trata de detectar nuances sutis de cor ou quando as condições de iluminação não são ideais. Ele é mais suscetível a variações devido à iluminação ambiente e ao ângulo de medição.

Por outro lado, o espectrofotômetro X-Rite é um equipamento de alta precisão. Ele mede a cor ao enviar luz sobre a amostra e analisar a luz refletida em uma ampla gama de comprimentos de onda. Isso permite que o espectrofotômetro forneça uma análise detalhada do espectro de cor da amostra, tornando-o muito mais preciso em comparação com o colorímetro.

É essencial que os resultados das análises de qualidade das resinas sejam confiáveis e estáveis, pois determinam a classificação dos lotes. Lotes “*off spec*” (fora de especificação) são menos lucrativos e têm restrições de vendas, sendo destinados a poucos clientes.

3.5 O grade “SP 057RA”

Os *grades* de resinas de PVC representam as diferentes variantes desse polímero, desenvolvidas pelas plantas industriais para atender às demandas específicas de diversas aplicações na sociedade. A distinção entre eles está relacionada à sua formulação, incluindo combinações exclusivas de dispersantes primários, secundários e iniciadores. Quando

processados com aditivos pelas indústrias de terceira geração, dão origem a uma ampla gama de produtos, que podem variar desde materiais flexíveis e maleáveis até itens com elevada rigidez (NUNES; RODOLFO; ORMANJI., 2006).

O *grade* “SP 057RA”, foco deste estudo, é um homopolímero de PVC produzido pelo processo de polimerização em suspensão. Caracteriza-se por sua rápida geleificação, alta fluidez no estado fundido, excelente transparência e brilho, estabilidade térmica superior, coloração inicial uniforme e baixo nível de *Roll Fish-Eyes*. Essa resina é amplamente utilizada em diversas aplicações industriais, incluindo a extrusão de perfis rígidos, a fabricação de filmes e laminados rígidos ou semirrígidos por extrusão e calandragem, o sopro de frascos e embalagens, e a injeção de peças como conexões. Assim como outras resinas de PVC, é inerte e não apresenta toxicidade, já que sua formulação não inclui aditivos nocivos à saúde.

A Tabela 1 apresenta os limites de especificação estabelecidos para os principais parâmetros do *grade* “SP 057RA”, abrangendo características essenciais para garantir a qualidade e o desempenho da resina em suas diversas aplicações industriais.

Tabela 1 - Limites de especificação para os parâmetros da resina “SP 057RA”

Parâmetro	Limite inferior	Limite superior	Unidade
Densidade aparente	0,52	0,60	g/cm ³
Porosidade	20 p.c.r.	30	p.c.r.
Viscosidade	80	83	-
Géis	0	15	pontos
Contaminação	0	20	pontos
Materiais voláteis	0	0,3	%
MVC residual	0	7	ppm

Fonte: Dados internos fornecidos por uma empresa do setor de PVC, 2023

Já para o parâmetro cor, a faixa de especificação varia conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Limites de especificação para o parâmetro cor em resinas “SP 057RA”

		Tipo	Mínimo	Máximo
SP 750 RA	Cor "L"	Cristal / Transparente	95,7	-
		Opaco	95	<95,70
	Cor "a"	Cristal	-	0,1
		Transparente	>0,10	0,3
		Opaco	>0,30	0,4
	Cor "b"	Cristal / Transparente	-	1,9
		Opaco	>1,90	2,2

Fonte: Dados internos fornecidos por uma empresa do setor de PVC, 2023

3.6 Metodologia *plan-do-check-act* (PDCA)

O ciclo *plan-do-check-act*, comumente conhecido pela sigla PDCA, foi desenvolvido na década de 1930 por Walter A. Shewhart nos laboratórios da *Bell Laboratories*, o ciclo estatístico de controle de processos é um método que pode ser aplicado e repetido continuamente em qualquer processo ou problema (CAMPOS, 2014). O método se popularizou 20 anos depois por William Edwards Deming, especialista em qualidade e estatístico, o qual aprimorou o método original de Shewhart e o aplicou aos conceitos de Qualidade Total no Japão após a Segunda Guerra Mundial. Deming então desenvolveu o que chamou de Ciclo PDCA de Shewhart, em homenagem ao criador do método (ANDRADE, 2003).

Werkema (1995) descreve o Método de Melhorias, também conhecido como Ciclo PDCA, na seguinte citação: “O ciclo PDCA é um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização”. Nessa citação, o termo "método" vem das palavras gregas "meta" (meta) e "hodos" (caminho), significando assim "caminho para alcançar metas".

Para Campos (2014), “O método é a sequência lógica para se atingir a meta desejada. A ferramenta é o recurso a ser utilizado no método”. No ciclo PDCA, frequentemente é mencionada a palavra “meta”. Campos (2013) define meta como “Resultado a ser atingido no futuro; é constituída em três partes: objetivo, valor e prazo”.

Em suma, segundo Campos (2004), o PDCA é uma ferramenta de gestão destinada à melhoria contínua dos processos. Ele consiste em quatro etapas: planejar (*plan*), fazer (*do*), checar (*check*) e agir (*act*). A Figura 11 apresenta uma representação detalhada dos objetivos de cada etapa.

Figura 11 - Ciclo PDCA



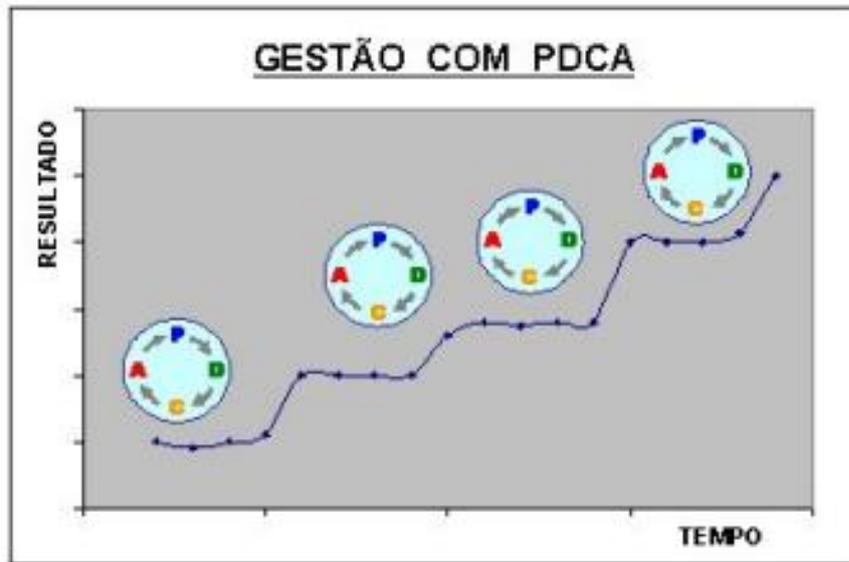
Fonte: Gomes, 2015

Ainda de acordo com Campos (2004), as etapas do ciclo PDCA são definidas da seguinte maneira:

- Planejar (*plan*): identificar o problema (levantamento de dados), definir a meta (indicador de desempenho) e elaborar um plano de ação para alcançá-la;
- Executar (*do*): implementar o plano de ação e coletar dados para medir o progresso em relação à meta;
- Verificar (*check*): analisar os dados coletados para verificar se a meta foi atingida;
- Agir (*act*): se a meta for alcançada, estabelecer padrões para manter os resultados. Se não for alcançada, retornar à etapa de planejamento para ajustar o plano e tentar novamente.

Dessa forma, o ciclo PDCA é um modelo dinâmico onde a conclusão de um ciclo alimenta o início do próximo, promovendo a melhoria contínua. Assim, o processo pode ser continuamente reavaliado e ajustado para iniciar novas mudanças. A aplicação completa do ciclo permite um aproveitamento efetivo dos processos na empresa, buscando a redução de custos e o aumento da produtividade (SLACK, 1996). Esse ciclo contínuo de mudança é ilustrado pela rampa de melhoria, como demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Rampa de melhoria PDCA



Fonte: Campos, 2004

3.6.1 *Plan* – Planejar

Segundo Paladini (1997), o planejamento é essencial para a implementação do processo de qualidade, pois conecta a teoria da qualidade com os objetivos da empresa e as ações práticas necessárias para alcançá-los. A eficácia do planejamento é crucial para o sucesso do Sistema ou Programa de Qualidade.

Este módulo é crucial, pois inicia o ciclo com o planejamento que orientará todas as etapas subsequentes. Para garantir a eficácia do ciclo, o planejamento deve ser elaborado de forma detalhada, com dados e informações abrangentes para todas as fases do método.

De acordo com a Gestão pela Qualidade na Segurança Pública (2007), o planejamento deve detalhar as providências para oportunidades e necessidades de melhoria, definição de metas e objetivos, revisão de processos, controles e medidas, responsabilidades, cronograma, etapas de implantação e necessidades de recursos.

Segundo Campos (2014), o módulo *plan* é dividido em quatro etapas:

3.6.1.1 Identificação do problema

“Um problema é o resultado indesejado de um processo” (CAMPOS, 2014). Para resolver um problema de forma eficaz, é crucial identificá-lo corretamente, delimitando seu escopo e entendendo seus impactos negativos no processo. Detalhar essas informações para

todos os envolvidos aumenta a eficácia da solução. Portanto, é essencial que a empresa dedique tempo suficiente para definir e esclarecer o problema adequadamente.

A construção de gráficos permite visualizar claramente como um problema afeta a empresa, destacando as perdas e os ganhos potenciais. Esses gráficos ajudam os colaboradores a entender melhor o problema e devem ser compartilhados por toda a empresa para que todos tenham acesso às informações. É essencial abordar os problemas com base na prioridade, resolvendo primeiro aqueles que causam o maior impacto negativo.

O estabelecimento de metas é baseado nas necessidades observadas na empresa e se divide em dois tipos: metas para manter e metas para melhorar. As metas para manter visam preservar o padrão atual da empresa, enquanto as metas para melhorar envolvem a identificação de problemas e o planejamento de ações corretivas para resolver esses problemas e promover melhorias.

3.6.1.2 Observação

A descoberta das características do problema, por meio da coleta de dados, começa com a observação do problema sob diferentes perspectivas, um processo conhecido como estratificação. Esses pontos de vista podem ser detalhados da seguinte forma (MELO, 2001):

- **Tempo:** Os resultados variam conforme o período do dia, dias da semana ou feriados?
- **Local:** Há diferenças nos resultados em diferentes partes de uma peça ou em locais distintos, no caso de serviços?
- **Tipo:** Os resultados mudam com base no tipo de produto, matéria-prima ou material utilizado?
- **Sintoma:** Os resultados diferem conforme o tipo de defeito, a causa do absenteísmo ou o motivo da parada do serviço?
- **Outros fatores:** Há variações devido a turmas de trabalho, operadores, processos, instrumentos de medição, ferramentas ou sazonalidades?

A observação do problema deve ser feita no local onde ele ocorre, após um pré-estudo. Isso permite a coleta de informações adicionais que não podem ser obtidas apenas com dados numéricos. Analisar o problema no local ajuda a confirmar ou ajustar as características observadas. É recomendável utilizar câmeras fotográficas ou filmadoras para documentar a situação de forma clara e detalhada (MELO, 2001).

3.6.1.3 Análise

A análise do processo visa identificar as causas fundamentais do problema em questão. Segundo Campos (1996), isso implica descobrir as causas principais que estão na raiz do problema, por meio da investigação das características essenciais relacionadas.

Para definir as causas do problema, é essencial envolver todas as pessoas relevantes e realizar reuniões participativas. O Diagrama de Causa e Efeito pode ser utilizado para uma análise detalhada, ajudando a identificar as causas mais prováveis. Essas causas devem ser priorizadas com base nas informações obtidas anteriormente, eliminando as menos prováveis. É importante também considerar os efeitos cruzados, onde múltiplos fatores podem estar presentes, e analisar as informações da empresa para obter uma visão mais completa.

Os resultados das experiências confirmarão se há uma relação entre o problema e as causas mais prováveis. Ao final, deve-se verificar se a eliminação da causa não gera novos problemas. Se a causa encontrada não for a fundamental, será necessário reiniciar o processo para identificar outras causas. Se não houver novos problemas, o ciclo pode avançar para a elaboração do plano de ação. Este plano abordará as causas prioritárias com contramedidas para minimizar os impactos negativos na empresa.

3.6.1.4 Plano de ação

Como mencionado por FIEG e SENAI (2002), o plano de ação é um documento organizado que identifica e orienta as ações necessárias para corrigir itens não conformes, além de definir responsabilidades e outros aspectos relacionados. Embora seja uma ferramenta gerencial, é extremamente útil para as equipes de aprimoramento no planejamento e na condução de suas atividades.

Todo plano de ação deve ser estruturado para permitir a rápida identificação dos elementos necessários à implementação do projeto. Ele orienta a solução de problemas, prioriza ações, designa responsáveis e monitora o cumprimento das tarefas (OLIVEIRA, 1996). Para melhorar o controle e o acompanhamento das ações na próxima etapa do plano de ação, pode-se utilizar a ferramenta “5W2H”. Essa metodologia ajuda a estruturar e gerenciar as tarefas de forma mais eficaz.

3.6.2 *Do* – Fazer

Todas as metas e objetivos estabelecidos na etapa anterior devem ser colocados em prática, seguindo a filosofia de trabalho da organização. Para que a etapa *do* seja eficaz, é crucial que o plano de ação esteja bem estruturado. Esta fase permite a execução gradual e organizada do plano, garantindo maior eficácia nas medidas implementadas. Sem a aplicação prática, o plano de ação não alcançará seus objetivos.

Campos (2014) divide o módulo em duas partes: a parte de treinamento e a parte de execução das ações.

Na fase de treinamento, a organização deve comunicar o plano de ação a todos os colaboradores envolvidos e identificar quais ações requerem a cooperação ativa de todos. A divulgação pode ser feita por meio de reuniões participativas ou técnicas de treinamento, esclarecendo tarefas e a importância para os responsáveis pela execução. Após a reunião, deve-se confirmar que todos compreenderam e concordaram com as ações propostas. Se houver consenso, a medida pode ser implementada; caso contrário, deve-se ajustar o plano e convocar uma nova reunião para garantir o envolvimento de todos.

A fase de execução da ação envolve a implementação do plano de ação proposto. Nesta etapa, os colaboradores já foram treinados e estão cientes das atividades a serem desenvolvidas. Durante a execução, é fundamental realizar verificações físicas nos locais onde as ações estão sendo implementadas.

Todos os resultados, tanto positivos quanto negativos, devem ser registrados com suas respectivas datas, junto com as ações realizadas. Esses registros fornecerão informações essenciais para a próxima etapa (CAMPOS, 2014).

3.6.3 *Check* – Checar

Esta etapa visa avaliar se os objetivos planejados foram efetivamente alcançados, comparando as metas estabelecidas com os resultados obtidos. Ferramentas de controle e acompanhamento são geralmente utilizadas para essa comparação (MARSHALL, 2006).

Se o *plan* e o *do* forem executados corretamente, as ações do plano de ação deverão atingir as metas desejadas. Contudo, é essencial realizar a verificação para confirmar que as metas estão sendo realmente alcançadas (FALCONI, 1996).

3.6.4 Act – Agir

Nesta fase, existem duas alternativas principais. A primeira é investigar as causas fundamentais para evitar a repetição de problemas, caso as metas planejadas não tenham sido alcançadas. A segunda é adotar como padrão o plano inicial, se as metas tiverem sido atingidas (MARSHALL, 2006).

Além disso, ações corretivas exigem uma análise regular das falhas na qualidade, classificadas por produto, tipo de falha e fornecedores. Para prevenir a recorrência de falhas, pode ser necessário avaliar o sistema de qualidade e fazer ajustes conforme a análise das falhas específicas (CHAVES, 1997).

3.6.5 Ferramentas de qualidade

De acordo com Andrade (2018), para garantir resultados mais consistentes no Ciclo PDCA e tomadas de decisão adequadas, é possível utilizar ferramentas de qualidade, as quais auxiliam de maneira específica nas análises e verificações, oferecendo diferentes abordagens e objetivos.

3.6.5.1 Diagrama de Ishikawa

Criado por Kaoru Ishikawa, o diagrama de Ishikawa (também conhecido como diagrama de espinha de peixe) ajuda a identificar as principais causas de problemas e suas sub-causas, mostrando como diferentes fatores podem estar inter-relacionados. Embora não identifique a causa exata, essa ferramenta organiza as possíveis causas do problema, facilitando sua identificação (ANTÓNIO; TEIXEIRA; ROSA, 2016).

É uma ferramenta valiosa para várias situações, como identificar possíveis causas de problemas, melhorar a visualização da relação entre causa e efeito, e classificar as causas de um efeito ou resultado em sub-causas. Ele também ajuda a identificar as causas que provocam um problema, analisar a relação entre efeitos e suas prioridades, e examinar defeitos ou falhas para promover melhorias. Entre suas principais vantagens, destaca-se por ser uma ferramenta estruturada que orienta a verificação das causas das não conformidades. Seu formato flexível permite a inclusão de diversas propostas, proporcionando uma visão ampla das variáveis envolvidas nas atividades. Além disso, não requer conhecimento específico para sua utilização (TAVARES, 2012).

Em resumo, o diagrama de Ishikawa ajuda a organizar o raciocínio e a discussão sobre os fatores que afetam um problema prioritário para o gestor, destacando os aspectos que influenciam o processo e seus efeitos. O diagrama abrange fatores como método, máquina, medida, meio ambiente, material e mão de obra, com o objetivo de identificar a influência de cada um desses aspectos no problema em questão, conforme o Quadro 1. Durante sua elaboração, é possível identificar as causas diretas associadas a cada fator e, a partir dessas causas, descobrir as sub-causas que contribuem para o problema final (BEZERRA, 2014).

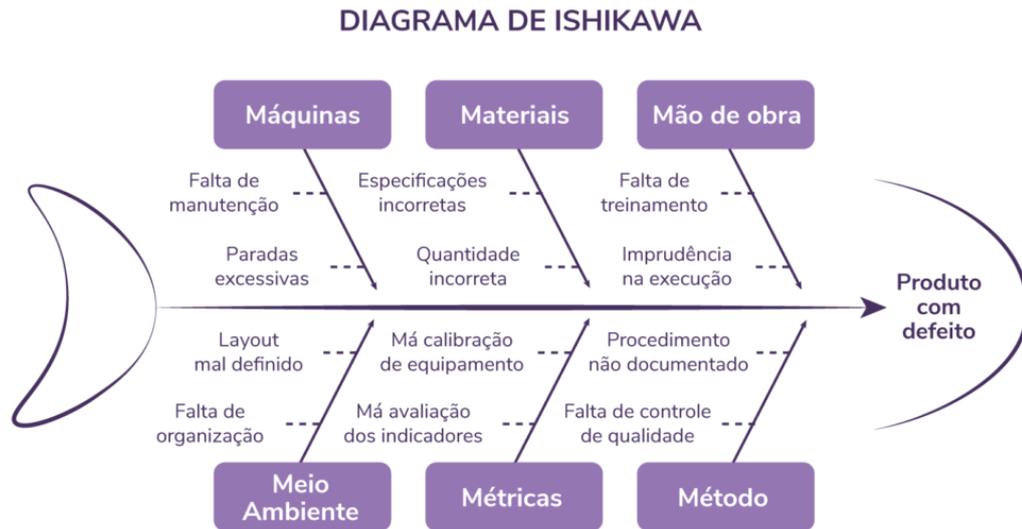
Quadro 1 - Natureza das possíveis fontes de problemas para o Diagrama de Ishikawa

Fontes	Natureza
Método	Refere-se aos procedimentos e técnicas utilizados no processo. Inclui a forma como as atividades são realizadas e os métodos de trabalho aplicados.
Mão de obra	Diz respeito aos operadores e trabalhadores envolvidos no processo. Inclui a formação, habilidade e eficiência dos funcionários.
Material	Refere-se às matérias-primas e insumos utilizados na produção. Inclui a qualidade e as características dos materiais.
Medida	Relaciona-se com os sistemas de medição e controle usados para garantir que os produtos ou processos atendam aos padrões estabelecidos.
Meio ambiente	Refere-se às condições e ao ambiente onde o processo ocorre. Inclui fatores externos que podem influenciar a operação.
Máquina	Envolve os equipamentos e ferramentas utilizados no processo. Inclui a manutenção e o funcionamento das máquinas.

Fonte: Adaptado de Santis, 2013

O nome "espinha de peixe" deriva de seu formato, em que as "espinhas" representam as possíveis causas dos problemas, conforme ilustrado na Figura 13, a qual exemplifica um problema hipotético de um produto com defeito.

Figura 13 - Diagrama de Ishikawa para um problema hipotético de um produto com defeito



Fonte: Formighieri, 2021

3.6.5.2 Matriz de causa e efeito

De acordo com Kaíza (2022), a matriz de causa e efeito é uma ferramenta analítica que se utiliza para aprofundar a compreensão das relações entre as causas de um problema e seus efeitos. Ela é frequentemente aplicada após a elaboração do diagrama de Ishikawa, que é utilizado para identificar e organizar visualmente as causas potenciais de um problema.

No contexto da matriz de causa e efeito, as causas do problema são denominadas "entradas do processo" (X's), enquanto o problema ou problemas identificados são as "saídas do processo" (Y's). Cada saída é avaliada e recebe um peso, que varia de 5 a 10, para refletir sua importância ou impacto geral. Essa atribuição de peso é crucial, pois permite que as saídas mais significativas recebam uma maior consideração na análise.

Para cada combinação de entrada (X) e saída (Y), estabelece-se uma relação que pode ser classificada em quatro categorias: "não existe correlação", "correlação fraca", "correlação moderada" ou "correlação forte". Cada uma dessas categorias é então atribuída uma nota, que quantifica o grau de correlação. As notas são distribuídas da seguinte forma: 0 indica ausência de correlação; de 1 a 3 representa baixa correlação; de 4 a 7 indica média correlação; e de 8 a 10 denota uma correlação forte.

Depois de atribuir essas notas, o valor de cada correlação é multiplicado pelo peso correspondente de cada saída. Esse cálculo resulta em um valor final que ajuda a determinar o grau de impacto de cada entrada sobre as saídas. Com base nesse valor, é possível avaliar o esforço necessário para abordar e eliminar cada causa. Se o resultado é alto, isso indica que a

causa tem uma forte influência nas saídas e, portanto, exigirá um maior esforço para ser corrigida. Se o valor é baixo, o esforço para eliminar a causa será proporcionalmente menor.

Em resumo, a matriz de causa e efeito proporciona uma análise detalhada e quantitativa das relações entre causas e efeitos. Ela permite a visualização clara de quais causas têm maior impacto sobre os problemas identificados, facilitando a priorização das ações corretivas. Dessa forma, a ferramenta contribui para uma abordagem mais eficiente e direcionada na resolução de problemas complexos.

Na Figura 14, tem-se o exemplo de uma matriz de causa e efeito aplicada à um problema em uma indústria petroquímica.

Figura 14 - Matriz de causa e efeito aplicada à um problema em uma indústria petroquímica

MATRIZ CAUSA & EFEITO										
10 - 9 - 8: Forte Correlação		7 - 6 - 5 - 4: Média Correlação			3 - 2 - 1: Baixa Correlação			0: Não há correlação		
Índice de Importância		10								
X's do Processo		Consumo de água						TOTAL	Esforço de Eliminação da Variável de Entrada	Alto 5 - 8 Baixo 1 - 4
X01	LAVAGEM DE SILOS	8						80	baixo	5
X02	USO HIDROJATO	5						50	baixo	5
X03	USO BOMBA SAPO	5						50	baixo	5
X04	LIMPEZA DE PISOS (ÓLEO-PELLETS)	6						60	baixo	4
X05	VAZAMENTOS EM LINHAS ENTERRADAS	7						70	alto	5
X06	VAZAMENTOS EM LINHAS NÃO ENTERRADAS	7						70	baixo	5
X07	CX PASSAGEM S/ VISUALIZAÇÃO	3						30	alto	3
X08	PLACA MEDIÇÃO	4						40	baixo	3
X09	INEXISTÊNCIA DE ALARMES	5						50	baixo	5
X10	TRANSBORDO DA BACIA TORRE	6						60	baixo	3
X11	EVAPORAÇÃO TORRE DE RESFRIAMENTO	10						100	alto	8
X12	TEMPERATURA AMBIENTE	3						30	alto	3
X13	UMIDADE RELATIVA	3						30	alto	7
X14	TREINAMENTO/PROCEDIMENTO	4						40	baixo	3
X15	CONSCIENTIZAÇÃO PARA USO	4						40	baixo	4

Fonte: Barbosa et al., 2015

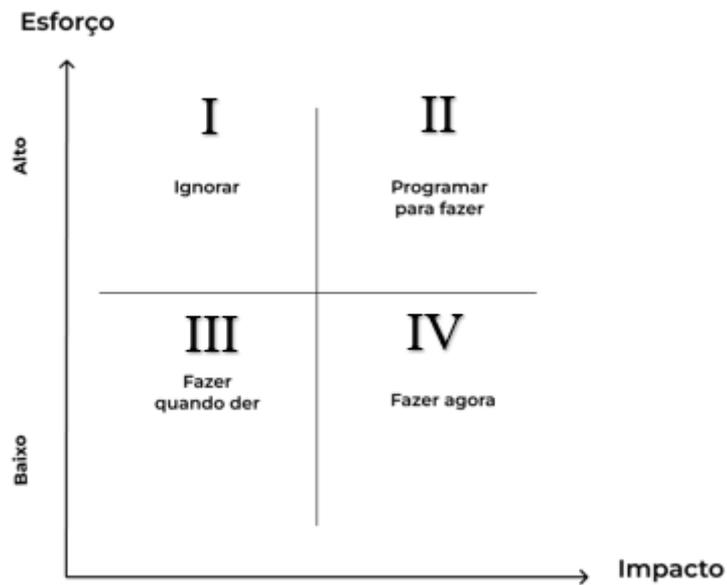
3.6.5.3 Matriz de esforço x impacto

É uma ferramenta de priorização usada para avaliar e comparar ações ou soluções com base em dois critérios principais: o esforço necessário para implementá-las e o impacto que elas terão. Essa matriz ajuda a identificar ações de alta prioridade que oferecem grandes benefícios com menor esforço, facilitando a tomada de decisões estratégicas e o direcionamento de recursos para iniciativas mais eficazes (COUTINHO, 2019).

Além disso, a matriz é dividida em quatro quadrantes, com as atividades alocadas entre eles com base no tempo gasto em cada ação e no impacto que elas terão. A matriz possui dois eixos principais: o eixo vertical e o eixo horizontal. O eixo vertical, que representa o impacto, considera fatores como eficiência, lucro, vendas e satisfação do cliente. Já o eixo horizontal, que representa o esforço, leva em conta aspectos como recursos financeiros, tempo dedicado a cada atividade e o número de pessoas envolvidas (COUTINHO, 2019).

Os quadrantes da matriz de esforço e impacto são distribuídos, baseados em Rock Content (2021), da seguinte forma, conforme ilustrado na Figura 15.

- Quadrante I: Atividades nesse quadrante exigem um grande esforço, mas oferecem poucos benefícios. Geralmente, essas atividades devem ser evitadas ou reavaliadas. A menos que existam razões específicas para realizá-las, o custo e o esforço envolvidos podem não justificar os benefícios limitados. Pode ser útil analisar se o esforço pode ser reduzido ou se a atividade pode ser ajustada para aumentar seu impacto. Exemplos incluem processos obsoletos que demandam muita manutenção sem trazer melhorias significativas.
- Quadrante II: Atividades nesse quadrante trazem grandes benefícios, mas exigem um investimento considerável de recursos e tempo. Devem ser planejadas com cuidado e executadas com uma estratégia bem definida. É importante alocar adequadamente os recursos e monitorar o progresso para garantir que o esforço compensará o impacto positivo. Exemplos podem incluir grandes projetos de inovação ou reformas significativas.
- Quadrante III: Essas são atividades que requerem pouco esforço e oferecem benefícios modestos. Podem ser realizadas se houver tempo e recursos disponíveis, mas não devem ser a prioridade. Elas podem ser vistas como atividades de baixo risco que podem ser implementadas de maneira secundária ou como complementares a outras iniciativas. Exemplos incluem pequenas atualizações ou ajustes que não afetam significativamente o resultado global.
- Quadrante IV: Esse quadrante inclui atividades que oferecem grandes benefícios com um mínimo de esforço. São as atividades mais desejáveis e devem ser priorizadas. Elas proporcionam um retorno significativo com pouco investimento de recursos e tempo. Exemplos podem incluir pequenas melhorias de processos que resultam em grandes ganhos de eficiência.

Figura 15 - Matriz de esforço x impacto

Fonte: Brandão, 2019

3.6.5.4 Ferramenta 5W2H

O *5W2H* é uma ferramenta de gestão criada para solucionar problemas nos processos das empresas. Conforme Lucinda (2016), funciona como um checklist que define claramente as atividades de um projeto. Ela ajuda a resumir e organizar as tarefas diárias, facilitando o planejamento, a distribuição de responsabilidades e a elaboração de um plano de ação. Além disso, auxilia no registro e na definição de prazos para a conclusão das atividades.

É um método que facilita a tomada de decisões na implementação de planos de ação para melhorias, oferecendo uma abordagem estruturada, planejada e precisa para organizar os pensamentos. Ele corresponde às iniciais de sete perguntas em inglês, destinadas a resolver dúvidas sobre o que deve ser feito. Essa abordagem permite identificar claramente os responsáveis pelas atividades, o que deve ser realizado, os prazos para conclusão, os custos envolvidos, as razões para a execução e os momentos em que as tarefas serão realizadas. Dessa forma, o método oferece uma visão completa e organizada para planejar e implementar ações de forma eficaz (ARAÚJO, 2017). O Quadro 2 ilustra a ferramenta *5W2H* com exemplos de perguntas e conteúdo das respostas para um projeto hipotético de lançamento de um novo produto.

Quadro 2 - Exemplo de aplicação da ferramenta *5W2H*

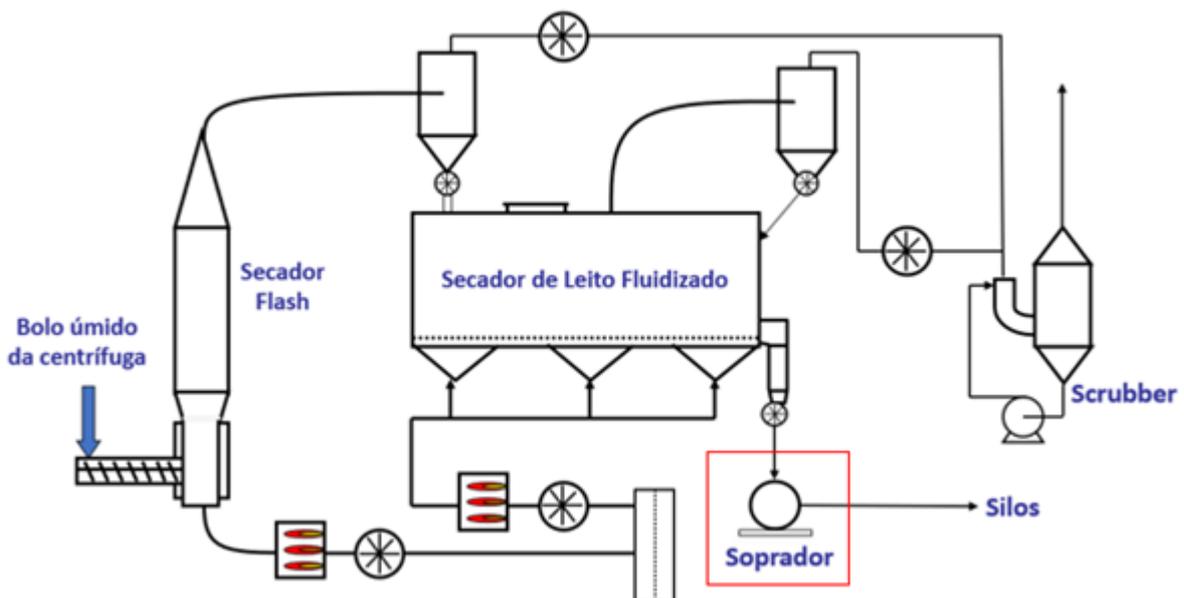
Pergunta	Descrição	Exemplo de pergunta	Conteúdo das respostas
<i>What?</i> (O que?)	Define o que exatamente precisa ser feito.	O que precisa ser feito para o lançamento do produto?	Criar campanhas publicitárias, preparar o material de promoção e coordenar eventos de lançamento.
<i>Why?</i> (Por que?)	Explica a razão ou o propósito da atividade.	Por que estamos lançando este novo produto?	O lançamento do novo produto visa atender à demanda crescente do mercado e expandir nossa presença na indústria.
<i>Where?</i> (Onde?)	Especifica o local onde as ações serão realizadas.	Onde será realizado o evento de lançamento?	O evento será realizado no Centro de Convenções da Cidade, localizado na Rua Principal, nº 123.
<i>Who?</i> (Quem?)	Identifica quem será responsável por executar a tarefa.	Quem será responsável pelo lançamento do novo produto?	O gerente de marketing será responsável pela coordenação do lançamento.
<i>When?</i> (Quando?)	Estabelece o prazo ou a data para a realização da tarefa.	Quando o lançamento do novo produto ocorrerá?	O lançamento está programado para o dia 15 de dezembro de 2024.
<i>How?</i> (Como?)	Descreve como a tarefa será realizada.	Como será a abordagem para promover o novo produto?	Utilizaremos campanhas de mídia social, e-mail marketing e eventos ao vivo para promover o produto.
<i>How much?</i> (Quanto?)	Estima o custo envolvido na execução da tarefa.	Quanto custará o lançamento do novo produto?	O orçamento para o lançamento é de R\$ 150.000,00, incluindo publicidade, eventos e materiais promocionais.

Fonte: Adaptado de Lucinda, 2016

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em uma indústria de PVC, ficticiamente chamada de “PVCFlex”, que produz, entre outras resinas, a “SP 057RA”, utilizada na fabricação de forros. Nela, a análise de medição de cor é realizada a partir de uma amostra obtida no ponto indicado pela Figura 16. Essas medições são cruciais para o controle de qualidade e são feitas em amostras compostas (para sua formação são retiradas alíquotas a cada 2 horas durante 24 horas). Os operadores realizam as primeiras medições, utilizando um colorímetro, diretamente no campo para detectar e corrigir rapidamente quaisquer desvios, garantindo que o processo permaneça dentro das especificações. Em seguida, essa mesma amostra é encaminhada para análise no LCQ, realizada por meio de um espectrofotômetro, que estabelece valores de referência padrão.

Figura 16 - Ponto de amostragem de cor



Fonte: Autora, 2024

Contudo, entre agosto e setembro de 2023, foram observadas discrepâncias significativas entre as medições de campo e as análises do LCQ, apontando inconsistências que podem comprometer a confiabilidade dos resultados. Essas diferenças dificultam a tomada de decisões rápidas e eficazes e podem levar a correções tardias, afetando a qualidade final do produto. Para manter o processo estável e as medições confiáveis, é fundamental que as leituras entre campo e laboratório estejam bem alinhadas. A variabilidade observada, porém, demonstra que esse alinhamento não está sendo mantido, o que motivou a

investigação das causas dessas discrepâncias e a aplicação de metodologias para redução dessa variação, garantindo maior precisão e controle no processo.

4.1 Aplicação da metodologia *plan-do-check-act* (PDCA)

Com o objetivo de reduzir a variabilidade entre as análises de medição do parâmetro cor medido pelo campo e o LCQ para a resina “SP 057RA” na empresa "PVCFlex", foi utilizada a metodologia PDCA. Essa abordagem sistemática facilita a melhoria contínua por meio de um ciclo de quatro etapas: *Plan, do, check e act*.

4.1.1 Aplicação da 1ª etapa: *plan*

O ciclo começa com a escolha do problema a ser resolvido e a definição do plano, fundamentado nas diretrizes da empresa. É válido ressaltar que esta etapa contou com a participação de uma equipe diversa, incluindo profissionais de engenharia de produção, engenharia de processo, analistas do laboratório de controle de qualidade e operadores. Juntos, eles colaboraram para identificar e elencar as possíveis causas da variabilidade, enriquecendo a discussão com diferentes perspectivas e conhecimentos especializados.

Esta fase se divide em:

- a) **Identificação do problema:** variabilidade dos valores de medição do parâmetro cor entre os operadores de campo e analistas do LCQ identificada por meio de gráficos de variação temporal utilizando dados de agosto e setembro de 2023;
- b) **Estabelecimento de meta:** nesse caso, busca reduzir a variabilidade encontrada;
- c) **Análise do fenômeno:** para detalhar o problema foram coletados dados históricos, utilizando o *software Aspen Process Explorer®* (desenvolvido pela *Aspen Technology*, possibilita a visualização em tempo real de dados de processo e parâmetros de qualidade, tanto de forma gráfica quanto em tabelas), e feitos gráficos de variação temporal (representações visuais de dados que mostram como uma variável muda ao longo do tempo) e relatório resumo (que permite resumir e apresentar os resultados das análises estatísticas realizadas no *software* de forma clara e organizada), utilizando o *Minitab* (uma ferramenta avançada de análise estatística), e diferença entre as médias medidas em campo e LCQ, os quais apresentaram valores numéricos evidenciando a existência de diferenças entre as medições;

- d) Análise do processo (causas): com o auxílio de uma equipe multidisciplinar, foram identificadas as causas mais importantes do problema por meio de ferramentas, como: Diagrama de Ishikawa, matriz de causa e efeito e matriz de esforço x impacto;
- e) Plano de ação: para detalhar todas as ações necessárias e alcançar a meta proposta, foi utilizada a ferramenta de qualidade “5W2H”.

4.1.2 Aplicação da 2ª etapa: *do*

Essa etapa consistiu na execução do plano de ação desenvolvido na etapa *plan*, treinamento da equipe envolvida, elaboração de Procedimentos Operacionais Padrão (POP), que são documentos formais que descrevem detalhadamente as instruções e passos a serem seguidos para garantir a padronização e consistência das operações, e na coleta dos dados necessários para avaliar a eficácia das ações para análise posterior.

4.1.3 Aplicação da 3ª etapa: *check*

A terceira etapa, o *check*, foi dedicada à verificação e análise dos resultados obtidos após a execução do plano. Nessa fase, os dados coletados são avaliados pelo *software Minitab*, por meio de análises estatísticas (gráficos de variação temporal, correlação, equação de regressão e cartas de controle do tipo I-AM) para determinar se os objetivos estabelecidos foram alcançados e se o plano de ação teve o efeito desejado. A análise compara os resultados reais com as metas planejadas, identificando quaisquer desvios e áreas que necessitam de ajustes.

4.1.4 Aplicação da 4ª etapa: *act*

Por fim, foram definidas as ações com base na etapa *check*. Para os objetivos alcançados com resultados positivos, tem-se a padronização e consolidação das melhorias implementadas, garantindo que as boas práticas sejam mantidas. Caso não, o ciclo é reiniciado, promovendo o processo de melhoria contínua.

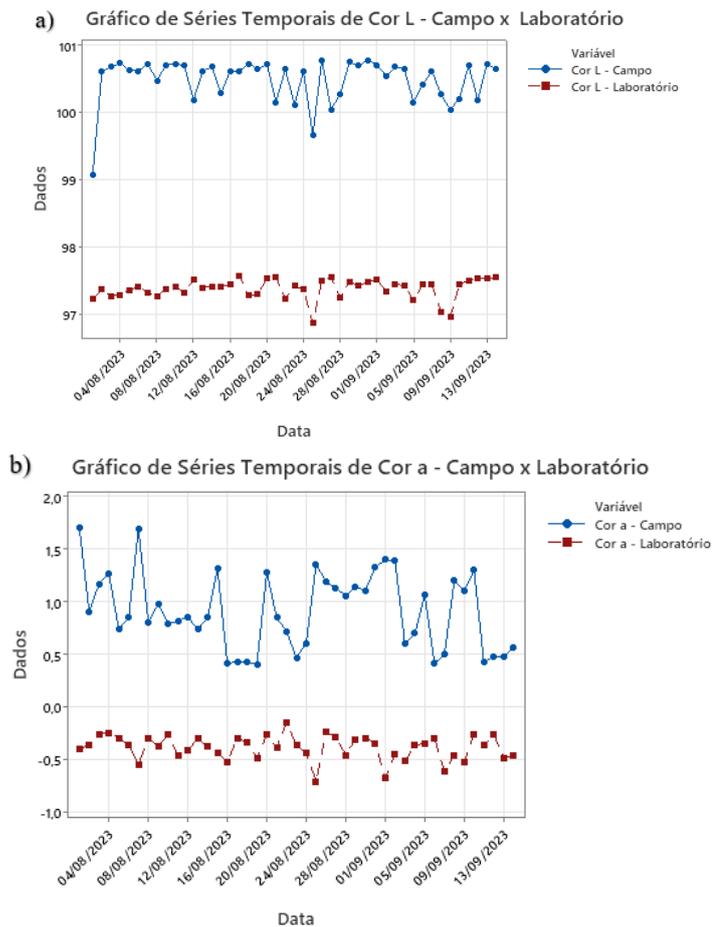
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

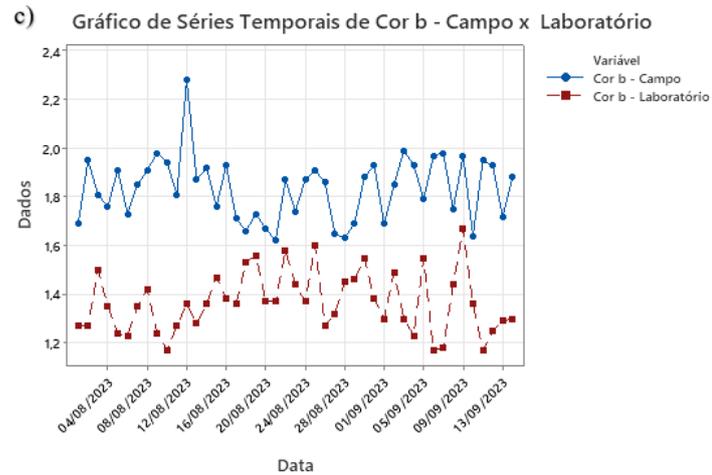
A seguir, estão apresentados os resultados alcançados durante a execução das etapas da metodologia PDCA na indústria “PVCFlex” para as resinas do *grade* "SP 057RA", em resposta ao problema de variabilidade nos resultados de medição do parâmetro cor entre o laboratório de controle de qualidade (LCQ) e os operadores de campo.

5.1 Plan: 1ª etapa

Na Figura 17, tem-se os gráficos de dispersão para a cor “L”, cor “a” e cor “b”. Esses gráficos ajudam a visualizar a discrepância entre os resultados obtidos pelo laboratório de controle de qualidade (LCQ) e os operadores de campo, facilitando a compreensão da magnitude do problema e a necessidade de intervenções.

Figura 17 - Gráficos de variação temporal: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”

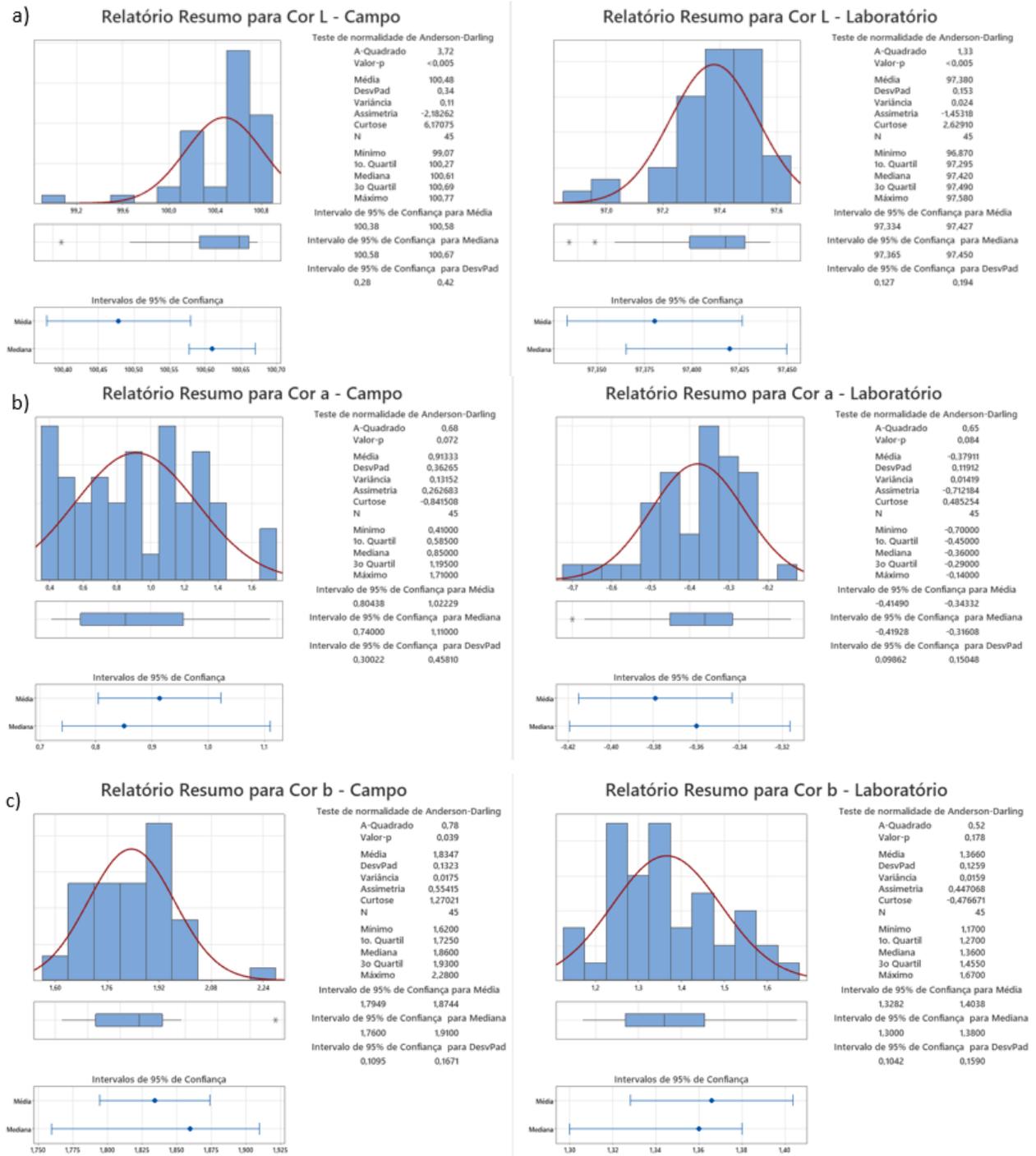




Fonte: Autora, 2024

Além da análise qualitativa, que revelou discrepâncias visíveis entre os valores de medição, foi realizada uma análise quantitativa por meio de relatório resumo, conforme a Figura 18. Essa análise consistiu no cálculo da média dos resultados registrados pelos operadores de campo, da média dos dados obtidos pelos analistas do laboratório de controle de qualidade (LCQ) e da diferença entre essas médias para cada uma das cores avaliadas resumido na Tabela 3, permitindo assim uma compreensão mais precisa das variações.

Figura 18 - Relatório resumo: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”



Fonte: Autora, 2024

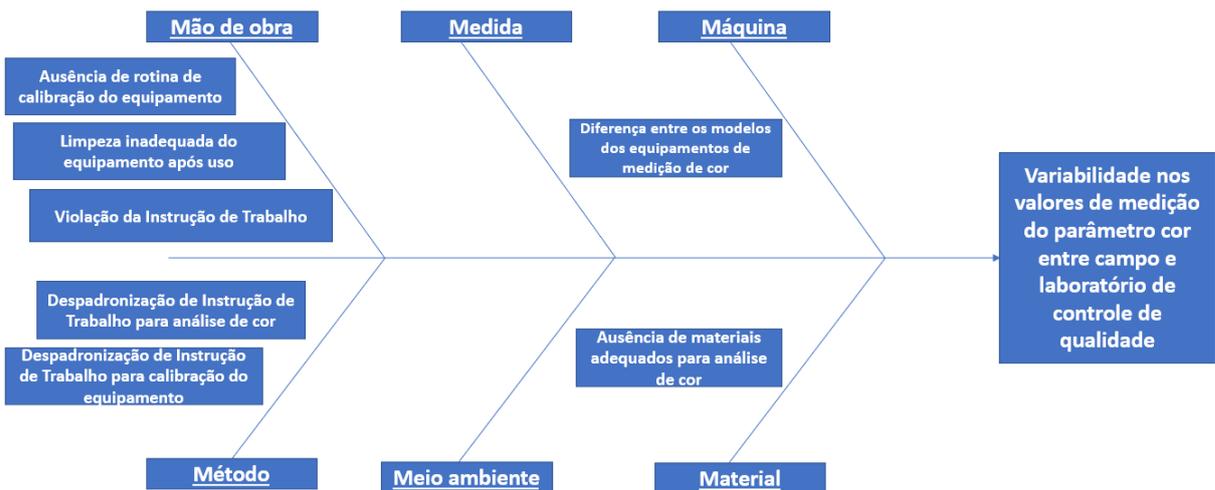
Tabela 3 - Valores de média dos dados de medição do parâmetro cor no campo, laboratório de controle de qualidade e diferença entre as médias

Cor	Média - Campo	Média - LCQ	Diferença entre as médias
“L”	100,478	97,38	3,098
“a”	0,913	-0,379	1,292
“b”	1,835	1,366	0,469

Fonte: Autora, 2024

Frente a essa variabilidade nos valores e considerando a meta de redução estabelecida, foi realizada uma análise detalhada do processo por meio do Diagrama de Ishikawa. O Diagrama de Ishikawa e as causas identificadas estão apresentados na Figura 19.

Figura 19 - Diagrama de Ishikawa abordando a variabilidade nos valores de medição de cor entre os operadores de campo e o laboratório de controle de qualidade nas resinas de PVC



Fonte: Autora, 2024

a) Mão de obra:

- Ausência de rotina de calibração do equipamento: Foi constatado que não havia uma rotina de calibração para o equipamento de medição de cor utilizado pelos operadores de campo, o colorímetro Miniscan. A implementação de uma rotina de calibração é crucial, pois garante a precisão e a confiabilidade das medições. Sem essa calibração regular, há um risco maior de variações nos resultados, o que pode levar a discrepâncias significativas entre os dados obtidos. Por outro lado, o equipamento de medição de cor utilizado pelos analistas do LCQ, o X-Rite, possui uma rotina de inspeção estabelecida. Isso assegura que as medições realizadas no laboratório sejam

consistentes e estejam dentro dos padrões de qualidade, minimizando as chances de erros e melhorando a confiabilidade dos resultados;

- Limpeza inadequada do equipamento após uso: Foi observado que pelo menos metade dos operadores de campo não realizam uma limpeza adequada do equipamento após seu uso, resultando na presença de resquícios de pó de PVC. Essa situação é preocupante, pois a falta de limpeza pode levar à contaminação das amostras seguintes. Os resíduos de PVC acumulados podem alterar as propriedades óticas do colorímetro Miniscan, interferindo diretamente nas medições de cor. Quando o equipamento não é limpo corretamente, a precisão das leituras é comprometida, tornando-se difícil detectar variações de cor que poderiam ser críticas para a qualidade do produto. Além disso, essa prática pode gerar inconsistências nos dados, dificultando a comparação entre as medições realizadas em diferentes momentos ou por diferentes operadores. Em contrapartida, no LCQ, existe um protocolo rigoroso para a limpeza do equipamento, o qual os analistas seguem procedimentos específicos que garantem uma remoção mais eficiente dos resíduos;

- Violação da Instrução de Trabalho (IT): Foi notado que, em diversos momentos, os operadores de campo não seguiam fielmente a IT. Isso se manifestava em ações críticas, como a falta de uma limpeza prévia adequada do colorímetro, que é essencial para evitar a contaminação das medições. Além disso, notou-se que muitos operadores utilizavam o próprio saco plástico para armazenar as amostras, em vez de uma cubeta de vidro, como recomendado. Essa prática não só compromete a precisão das medições, mas também aumenta o risco de variações nos resultados devido à interação entre o material da amostra e o plástico. Outro ponto importante é a ausência de garantias de que as medições fossem realizadas em superfícies niveladas. Realizar as medições em uma superfície irregular pode afetar a estabilidade do equipamento e, conseqüentemente, a confiabilidade dos resultados.

b) Máquina:

- Diferença entre os modelos dos equipamentos de medição de cor: Foi identificado que os equipamentos de medição eram diferentes, o que pode impactar a consistência e a precisão dos resultados. No campo, os operadores utilizavam um colorímetro colorímetro Miniscan do tipo “EZ 4500L” marca *HunterLab*, Figura 20, que, embora eficaz para medições rápidas, pode ter limitações em termos de precisão e sensibilidade em comparação com equipamentos de maior complexidade.

Figura 20 – Colorímetro

Fonte: BrasEq, 2024

Por outro lado, os analistas do laboratório utilizavam um espectrofotômetro de bancada de esfera Ci7860 da marca X-Rite, Figura 21, que é conhecido por sua maior precisão e capacidade de realizar medições detalhadas. O espectrofotômetro de bancada oferece um controle mais rigoroso sobre as variáveis de medição, permitindo uma análise mais confiável das amostras de cor. Esse equipamento é projetado para fornecer dados mais consistentes, além de contar com funcionalidades avançadas que ajudam a minimizar erros e variações nas medições.

Figura 21 - Espectrofotômetro de bancada

Fonte: X-Rite, 2024

c) Método:

- Despadronização de Instrução de Trabalho (IT) para análise de cor: Foi percebido que não havia uma IT bem definida para a análise de cor, talvez devido à diversidade dos equipamentos de medição utilizados. Essa falta de padronização resultou em diretrizes que não eram claras nem de fácil compreensão, o que dificultou a execução

correta dos procedimentos pelos operadores. Uma IT inadequada e pouco detalhada pode levar a interpretações variadas, comprometendo a consistência e a precisão das medições. Sem um passo a passo detalhado que orientasse cada etapa do processo, os operadores podem incorrer em erros que afetam a qualidade dos resultados;

- Despadronização de Instrução de Trabalho (IT) para calibração do equipamento: Foi observado que não havia uma IT bem definida para a calibração do colorímetro Miniscan, o que pode ter contribuído para a despadronização dos processos. Essa ausência de diretrizes claras e detalhadas dificulta a execução adequada das calibrações, uma etapa crítica para garantir a precisão e a confiabilidade das medições.

d) Material:

- Ausência de materiais adequados para análise de cor: Foi identificado que, após a verificação dos materiais necessários para a análise de cor, conforme previsto na IT, os operadores de campo não dispunham de todos os itens essenciais. Entre os materiais faltantes, destaca-se a ausência de um pincel adequado para a análise. Esse utensílio é fundamental para a remoção de resíduos que podem ficar presos no equipamento, o pincel disponível no momento era muito grande, o que dificultava a limpeza eficiente, além disso, verificou-se a necessidade de uma cubeta nova, pois a cubeta antiga apresentava desgaste significativo.

A partir da análise das causas identificadas no diagrama de Ishikawa, foi possível elaborar a matriz de causa e efeito, conforme a Figura 22. Essa matriz permitiu a atribuição de notas a cada causa, refletindo sua importância em relação ao problema a ser resolvido (Y do processo). Além disso, foi feita uma classificação do impacto de cada causa, que pode ser alta ou baixa, juntamente com a avaliação do esforço necessário para eliminá-las ou tratá-las (X do processo).

Figura 22 - Matriz de causa e efeito

MATRIZ CAUSA & EFEITO					
Índice de Importância (escolha de 1: menos importante a 10: mais importante)		10			
Ys do processo (efeitos)		Y1 Variabilidade nos valores de medição de cor entre campo e laboratório de controle de qualidade	Índice de Impacto de X em Ys	Classificação do Impacto	Esforço para eliminar/tratar o X do processo (alto ou baixo)
Xs do processo (causas)					
X1	Ausência de rotina de calibração	10	100	ALTO	BAIXO
X2	Limpeza inadequada do equipamento após uso	8	80	BAIXO	BAIXO
X3	Despadronização de Instrução de Trabalho para análise de cor	9	90	ALTO	BAIXO
X4	Despadronização de Instrução de Trabalho para calibração do equipamento	9	90	ALTO	BAIXO
X5	Ausência de materiais adequados para análise de cor	7	70	BAIXO	BAIXO
X6	Diferença entre os modelos dos equipamentos de medição de cor	10	100	ALTO	ALTO
X7	Violação da Instrução de Trabalho	9	90	ALTO	BAIXO

Fonte: Autora, 2024

Com a criação da matriz de causa e efeito, avança-se para o desenvolvimento da matriz de esforço e impacto, apresentada na Figura 23. Essa nova matriz permite identificar quais causas deveriam ser descartadas, ou seja, aquelas que exigem um alto esforço de eliminação, mas têm um baixo impacto no processo. Também foram categorizadas as causas complexas, que apresentam tanto um alto esforço quanto um alto impacto. As causas que devem ser agendadas quando possível são aquelas com baixo esforço e baixo impacto, enquanto as causas que exigem atenção imediata são aquelas que oferecem um alto impacto com um baixo esforço de intervenção.

Figura 23 - Matriz de esforço e impacto

		MATRIZ ESFORÇO X IMPACTO	
ESFORÇO (para atuar sobre os Xs)	ALTO	DESCARTAR PELO MENOS NESTE MOMENTO	QUESTIONAR VALE MESMO A PENA? Diferença entre os modelos dos equipamentos de medição de cor
	BAIXO	NÃO É PRIORIDADE AGENDAR AS AÇÕES NA MEDIDA DO POSSÍVEL Limpeza inadequada do equipamento após uso Ausência de materiais adequados para análise de cor	PRIORIZAR AÇÕES VER E AGIR OU APROFUNDAR ANÁLISE E ELABORAR PLANO Ausência de rotina de calibração Despadronização de Instrução de Trabalho para análise de cor Despadronização de Instrução de Trabalho para calibração do equipamento Violação da Instrução de Trabalho
		BAIXO	ALTO
		IMPACTO (nas variáveis Y)	

Fonte: Autora, 2024

Após essas análises é possível compreender melhor os fatores que contribuem para essa variação e desenvolver estratégias direcionadas para melhorar a precisão das medições e alinhar os resultados às expectativas de qualidade. A partir disso, foi elaborado um plano de ação, tendo como suporte a metodologia “5W2H”, no Quadro 3. No documento, foram estabelecidas ações específicas para cada causa, além de designados responsáveis para a implementação de cada ação, garantindo a clareza na responsabilidade e no comprometimento da equipe. Os prazos foram definidos com base na complexidade e urgência das ações, permitindo um acompanhamento eficaz do progresso.

Cada ação inclui uma justificativa que destaca sua importância para a melhoria do processo, contribuindo para o alinhamento com os objetivos de qualidade. Ademais, foram detalhadas as etapas necessárias para a execução de cada ação e os locais onde essas atividades ocorrerão, facilitando a logística de implementação. Em relação aos custos, foi realizada uma análise dos recursos financeiros envolvidos, destacando que várias ações podem ser implementadas sem gastos adicionais para a empresa.

Quadro 3 - Planilha “5W2H”

CAUSA (X'S vitais)	O que fazer?	Quem?	Quando?	Por que?	Como?	Onde?	Quanto?
Despadronização de Instrução de Trabalho para análise de cor (X3)	Redigir uma Instrução de Trabalho que exemplifique como deve ser feita a análise de cor utilizando o colorímetro Miniscan;	Beatriz Engenheiro de produção	07/10/2023	É imprescindível uma padronização para análise de cor.	Redigir em forma de Lição de um Ponto para que seja feito o treinamento.	Microsoft Word	R\$ 0
Despadronização de Instrução de Trabalho para análise de cor (X3)	Inserir a Instrução de Trabalho na Biblioteca de Documentação Orientadora.	Operador X	08/10/2023	É necessário que o documento esteja disponível para consulta.	Inserir a Instrução de Trabalho na Biblioteca de Documentação Orientadora.	Biblioteca de Documentação Orientadora	R\$ 0
Despadronização de Instrução de Trabalho para calibração do equipamento (X4)	Redigir uma Instrução de Trabalho que exemplifique como deve ser feita a calibração do colorímetro Miniscan;	Beatriz Engenheiro de produção	07/10/2023	A calibração do equipamento é de extrema importância para a confiabilidade do valor medido.	Redigir em forma de Lição de um Ponto para que seja feito o treinamento.	Microsoft Word	R\$ 0
Despadronização de Instrução de Trabalho para calibração do equipamento (X4)	Inserir a Instrução de Trabalho na Biblioteca de Documentação Orientadora.	Operador X	08/10/2023	É necessário que o documento esteja disponível para consulta.	Inserir a Instrução de Trabalho na Biblioteca de Documentação Orientadora.	Biblioteca de Documentação Orientadora	R\$ 0
Ausência de materiais adequados para análise de cor (X5)	Aquisição dos materiais adequados de acordo com a Instrução de Trabalho para análise de cor.	Beatriz Técnico de operação	10/10/2023	Para que esteja de acordo com a Instrução de Trabalho e análise seja feita de forma correta.	Através da compra dos materiais.	Loja de ferramentas	R\$ 100
Ausência de rotina de calibração (X1)	Elaborar plano com rotina de calibração do equipamento para os operadores.	Técnico de operação	15/10/2023	É necessário que haja uma rotina de calibração do equipamento para maior confiabilidade.	Inserção da atividade na rotina da operação.	Área industrial	R\$ 0
Violação da Instrução de Trabalho (X7)	Treinamento com a operação após padronização da Instrução de Trabalho.	Beatriz Engenheiro de produção	30/10/2023	Para reduzir erros e aumentar a confiabilidade da medição.	Treinamento no formato de Diálogos Semanais de Liderança (DSL).	Área industrial	R\$ 0

5.2 Do: 2ª etapa

Após a elaboração do plano de ação, utilizando a matriz “5W2H”, teve início a implementação das ações delineadas. As ações a seguir foram definidas para abordar as causas prioritizadas, com o objetivo de promover melhorias no processo:

- Despadronização de Instrução de Trabalho (IT) para análise de cor: Para isso, foi elaborado um POP (no *software Microsoft Word®*) que descreve as etapas detalhadas e padronizadas para a realização do procedimento de análise de cor utilizando o colorímetro Miniscan, conforme a Figura 24.

Figura 24 - Procedimento operacional padrão para leitura do parâmetro cor utilizando o colorímetro Miniscan

		PVC FLEX Procedimento Operacional Padrão (POP)		
		Nome do Procedimento: <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;"> ANÁLISE EM RESINA DE PVC </div>		
Objetivo: Definir procedimento para análises de caracterização das resinas de PVC produzidas na PVC Flex		Data de emissão: 07/10/23		
Código: 057RA	Unidade Responsável: PVC Flex - AL	Subunidade Responsável: PVC Flex – Polo industrial	Versão: 2	Revisão 1

Passo	Atividade
1	Prepare as amostras sempre da mesma maneira a cada medição
2	A amostra deve ser lida usando uma cubeta de vidro, a qual apresenta uma superfície plana para o colorímetro
3	A cubeta de vidro, contendo a amostra, deve ser colocada, horizontalmente, sobre uma superfície nivelada. Certifique-se de que a posição do leitor está plana no contato contra a superfície da

Fonte: Autora, 2024

Além disso, foi estruturado um documento (no *software Microsoft Word®*) em formato de Lição de Um Ponto (LPP), na Figura 25, que é um tipo de documento altamente visual e instrutivo. Esse formato inclui fotos e ilustrações que acompanham explicações detalhadas sobre cada etapa do processo de análise de cor, proporcionando uma compreensão

clara e intuitiva das instruções. Essa abordagem não apenas facilita a assimilação do conteúdo, mas também ajuda a padronizar o procedimento, reduzindo a variabilidade nos resultados. Ao apresentar as informações de maneira acessível e didática, a lição de um ponto confere maior confiança aos operadores durante a execução da análise, garantindo que todos sigam os mesmos critérios e procedimentos.

Figura 25 - Lição de um ponto para o procedimento operacional de leitura do parâmetro cor utilizando o colorímetro miniscan

 LIÇÃO DE UM PONTO	
Título: Procedimento operacional para leitura do parâmetro cor utilizando o colorímetro miniscan	Data: 07/10/2023
Autor: Beatriz Seixas Alves Engenheiro de Produção X	UN/Área: PVC2AL/PVC2
Áreas para replicação: PVC2	Código: 057RA
Tipo: <input checked="" type="checkbox"/> Conhecimento Básico <input type="checkbox"/> Melhoria <input type="checkbox"/> Problema	Revisão: 00
 	
<p>O colorímetro miniscan é um dispositivo utilizado para medir a cor de superfícies de forma precisa e rápida. Ele fornece dados quantitativos sobre a tonalidade, saturação e luminosidade de um objeto.</p>	<p>Passo 1</p> <p>Prepare as amostras sempre da mesma maneira a cada medição. A amostra deve ser lida usando uma</p>

Fonte: Autora, 2024

Após sua conclusão, os documentos foram inseridos na Biblioteca de Documentação Orientadora (BDO), garantindo que todos os colaboradores tivessem fácil acesso à informação padronizada. A responsabilidade pela inserção no sistema foi delegada ao operador da unidade industrial da “PVCFlex”.

- Despadronização de Instrução de Trabalho (IT) para calibração do equipamento: De maneira semelhante ao que foi feito para a causa de despadronização de Instrução de Trabalho (IT) para análise de cor, também foi desenvolvida um POP e uma LPP. Após a finalização do documento, ele foi adicionado à BDO pelo operador da unidade industrial da “PVCFlex”.

- Ausência de materiais adequados para análise de cor: Foi observado que os operadores não tinham todos os materiais adequados para a análise de cor, para solucionar essa lacuna, foi realizado um levantamento dos itens necessários, registrado no *software Microsoft Word®*, pela autora desse trabalho. Os principais materiais identificados foram um pincel adequado e uma cubeta de vidro, essenciais para a correta aplicação e coleta de amostras. O investimento total para a aquisição desses itens foi de aproximadamente R\$ 100,00, e as compras foram feitas pelo técnico de operação da “PVCFlex” em uma loja especializada em materiais de laboratório, garantindo a qualidade e a adequação para o processo de análise.

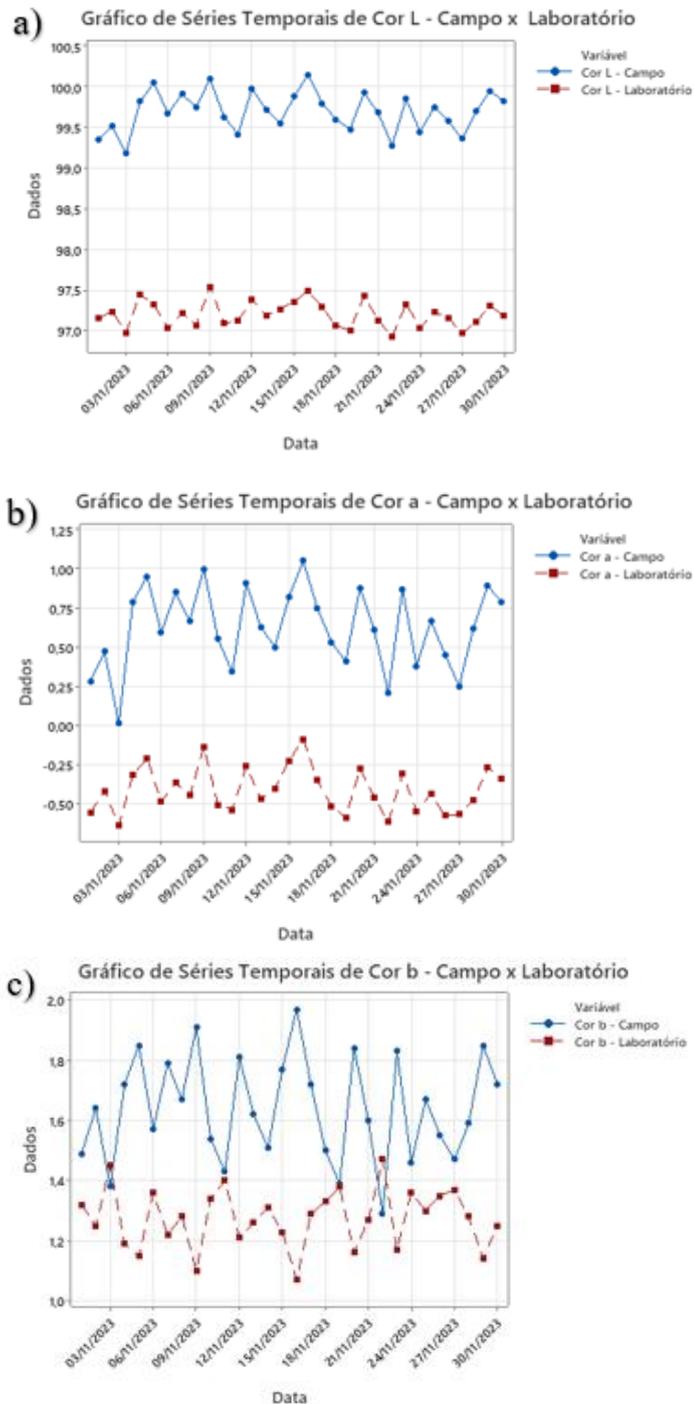
- Ausência de rotina de calibração do equipamento: A ausência de uma rotina de calibração para o colorímetro Miniscan pode resultar em medições imprecisas. Frente a isso, foi instituída, pelo técnico de operação da "PVCFlex", uma rotina de calibração, da seguinte maneira: a nova abordagem estabelece que o equipamento deve ser calibrado pelo menos uma vez a cada quatro horas de uso. Além disso, ele está programado para solicitar a calibração automaticamente, garantindo que os operadores sejam alertados quando essa necessidade surgir. Outra diretriz importante é realizar a calibração sempre que houver uma mudança significativa na temperatura ambiente, especialmente se a variação for superior a 15° C. Por exemplo, se o equipamento for transportado de um ambiente com ar condicionado para um espaço externo a 32° C, os operadores devem calibrá-lo novamente após ele estabilizar sob a nova temperatura. Essa prática assegura que as medições sejam precisas, independentemente das condições ambientais.

- Violação da Instrução de Trabalho (IT): A violação da IT por alguns operadores exigiu uma abordagem para reverter essa situação. Para garantir que todos seguissem fielmente os procedimentos estabelecidos, foi realizada uma sessão de reciclagem através do Diálogo Semanal de Liderança (DSL). Essa iniciativa foi conduzida pela autora deste trabalho em parceria com o engenheiro de produção, que era a pessoa mais indicada para esclarecer dúvidas e ensinar a forma correta de realizar as análises diretamente na área industrial. Durante o DSL, os operadores tiveram a oportunidade de tirar dúvidas e esclarecer quaisquer incertezas sobre os procedimentos. O engenheiro de produção apresentou exemplos práticos e demonstrou as melhores práticas a serem seguidas, promovendo um aprendizado mais eficaz. Essa abordagem não apenas reforçou a importância de seguir a IT, mas também incentivou um ambiente de colaboração e comunicação aberta entre a equipe.

5.3 Check: 3ª etapa

Após a implementação das ações planejadas, o próximo passo foi checar se a meta de redução da variação foi alcançada. Para isso, foram elaborados gráficos de variação temporal, conforme a Figura 26, avaliando o período de novembro de 2023.

Figura 26 - Gráficos de variação temporal: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”



Fonte: Autora, 2024

Através dos gráficos de dispersão, é evidente que houve uma diminuição na variação, ainda que em uma escala modesta. Quantitativamente, calculou-se, novamente, a diferença entre as médias e a porcentagem de redução da variabilidade, conforme a Tabela 4.

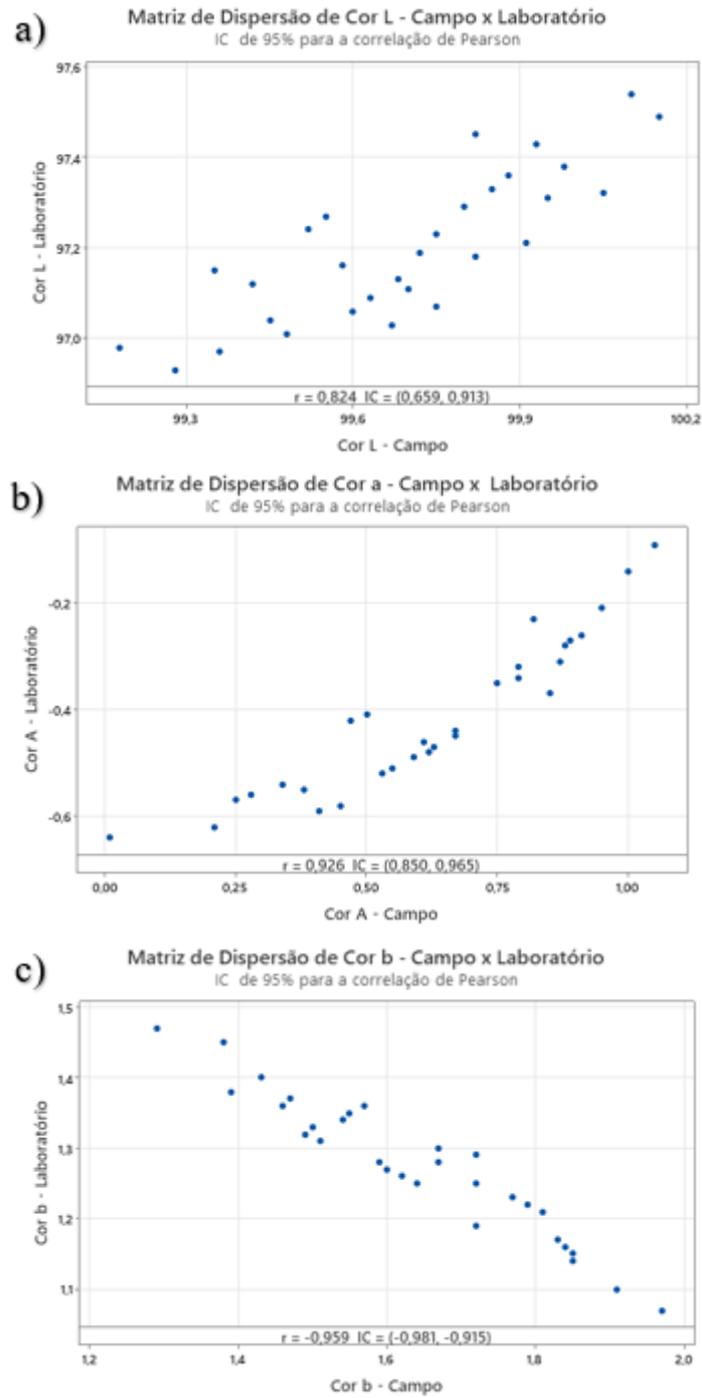
Tabela 4 - Valores de média dos dados de medição do parâmetro cor no campo, laboratório de controle de qualidade, diferença entre as médias e porcentagem de redução da variabilidade

Cor	Média - Campo	Média - LCQ	Diferença entre as médias	Redução da variabilidade (%)
“L”	99,697	97,202	2,495	19,468
“a”	0,624	-0,416	1,04	19,565
“b”	1,638	1,275	0,363	22,53

Fonte: Autora, 2024

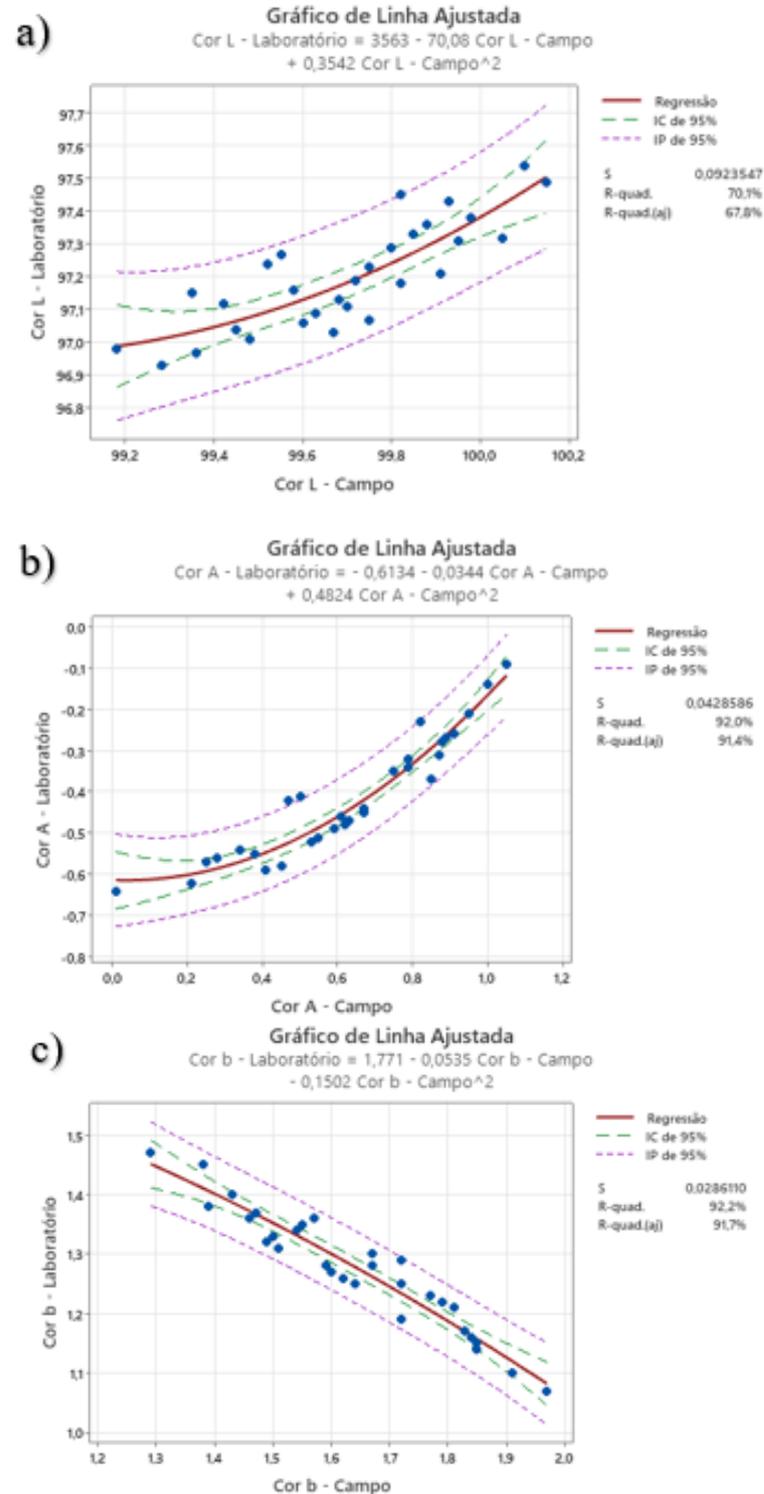
Embora a redução tenha sido de cerca de 20%, é importante destacar que qualquer diminuição representa um avanço significativo. Mudanças, mesmo que sutis, podem ter um impacto positivo nos processos e na qualidade final do produto. Uma das razões pelas quais a redução não foi mais acentuada pode estar relacionada ao uso de equipamentos diferentes para medir o parâmetro cor. Essa variação nos instrumentos de medição pode influenciar os resultados, dificultando comparações diretas e limitando o potencial de redução. Essa causa foi levantada no Diagrama de Ishikawa, embora sua resolução exija um esforço considerável, especialmente devido ao custo associado à aquisição de novos equipamentos. Devido a isso, com base nos dados coletados, avaliou-se a correlação entre eles, na Figura 27, e ajustou-se uma equação de regressão que os relacionasse, na Figura 28.

Figura 27 - Correlação: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”



Fonte: Autora, 2024

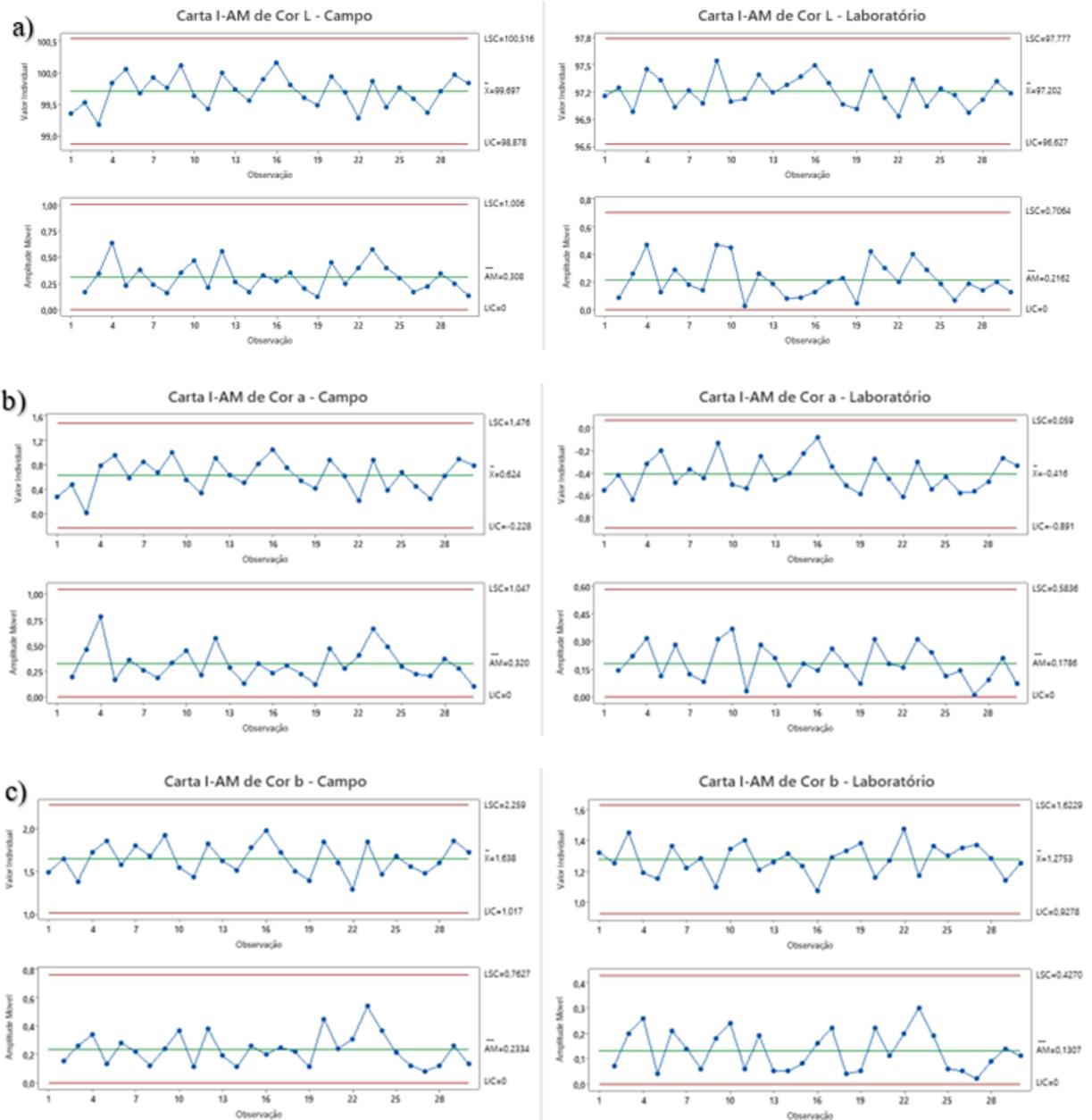
Figura 28 - Equação de regressão: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”



Fonte: Autora, 2024

Também foram elaboradas cartas de controle do tipo I-AM (Individual e Amplitude Móvel), conforme a Figura 29, para monitorar a estabilidade do processo e identificar variações fora dos limites de controle estabelecidos.

Figura 29 - Cartas de controle: a) Cor “L”; b) Cor “a”; c) Cor “b”



Fonte: Autora, 2024

A partir da elaboração das cartas de controle, foi possível identificar que todos os parâmetros monitorados se encontram dentro dos limites de controle estabelecidos. Embora haja oscilações ao longo do processo, essas variações são esperadas e estão dentro da normalidade, sem indicar a presença de causas especiais que possam comprometer a qualidade.

5.4 Act: 4ª etapa

Na etapa *act*, é o momento de agir com base nos resultados obtidos na fase *check* (verificação). Embora a redução identificada tenha sido de apenas cerca de 20%, ela ainda representa um avanço. As cartas de controle confirmam que o processo está dentro dos limites de especificação, garantindo sua estabilidade. Assim, as lições aprendidas ao longo do projeto foram devidamente documentadas para referência futura, juntamente com os POPs.

Além disso, a correlação encontrada entre os valores foi forte, o que fortalece a validade dos dados, e as equações de regressão apresentaram um bom valor de R^2 (de 70,1% para a cor “L”, de 92% para a cor “a” e de 92,2% para a cor “b”), indicando que os modelos preditivos têm uma boa capacidade de explicação das variações observadas. Com base nisso, foi proposta uma modificação no Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD), de acordo com a Figura 30, onde os operadores passariam a inserir o valor lido no campo e uma tabela automatizada converteria esse dado para um valor equivalente no laboratório, facilitando a correção e controle.

Figura 30 - Proposta de modificação de configuração no SDCD

PUCFLEX		PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DE CONFIGURAÇÃO			
TÍTULO: AJUSTE DO PARÂMETRO COR CAMPO VS. LABORATÓRIO EM SP 750RA E SP 767RA					NOTA: GM:
SISTEMA: SDCD <input checked="" type="checkbox"/>	PLC <input type="checkbox"/>	INFOPLUS <input type="checkbox"/>	PLANTA: FVC <input checked="" type="checkbox"/>	MVC <input type="checkbox"/>	UTIL. <input type="checkbox"/>
			CLORO <input type="checkbox"/>	SODA <input type="checkbox"/>	EDC <input type="checkbox"/>
			SITE: AL <input checked="" type="checkbox"/>	CA <input type="checkbox"/>	
CLASSE: ADEQUAÇÃO <input type="checkbox"/>	PRODUTIVIDADE <input type="checkbox"/>	QUALIDADE <input checked="" type="checkbox"/>	SEGURANÇA <input type="checkbox"/>	PRIORIDADE: ALTA <input type="checkbox"/>	MÉDIA <input type="checkbox"/>
				BAIXA <input type="checkbox"/>	

1- SITUAÇÃO ATUAL:

Cor pode ser definida como a propriedade dos corpos em absorver e refletir luz, e tem como atributos principais a tonalidade, a luminosidade e a saturação, sendo um importante indicativo de qualidade na resina. A cor “L” indica luminosidade, a cor “a” representa vermelho/verde (+a: indica vermelho e -a: indica verde), já a cor “b” representa amarelo azul (+b: indica amarelo e -b: indica azul). Esse parâmetro é medido utilizando um x-rite pelo laboratório e uma miniscan pelo campo, o que, tratando-se de equipamentos de medição diferentes, gera uma diferença entre esses valores.

Com o objetivo de ajustar o parâmetro cor medido no campo e no laboratório, visto que as análises ocorrem com equipamentos distintos, foi realizado um estudo comparativo entre os valores das amostras analisadas no laboratório e no campo. Com isso, foi possível estabelecer uma correlação e um modelo de regressão entre elas.

2- SITUAÇÃO DESEJADA:

Efetuar o controle e obter o ajuste, através do modelo de regressão, dos valores da cor L, a e b pelo SDCD.

CONFIGURAÇÃO PROPOSTA

- Inserir um campo de input de data e valor da leitura realizada pelo campo;
- A partir do dado imputado, calcular a conversão do valor para cor L, a e b;
- A lógica para cálculo da validade deve funcionar da seguinte forma:
 - O operador de painel insere a data e o valor da leitura realizada pelo campo na aba que faz referência a resina vigente;
 - O SDCD recebe a data e valor da leitura realizada pelo campo da seguinte forma:
 - Se a resina for SP 057RA,
 - Para a cor L: $Cor\ L\ convertida = 3563 - 70,08 * (Cor\ L\ lida\ no\ campo) + 0,3542 * (Cor\ L\ lida\ no\ campo)^2$;

Fonte: Autora, 2024

6 CONCLUSÃO

Com a aplicação da metodologia PDCA, foi possível identificar e minimizar um problema existente na indústria fictícia “PVCFlex”, especializada na produção de PVC. Esse ciclo permitiu, de maneira estruturada, a identificação do problema, a medição e análise dos dados, seguidos da implementação de melhorias no processo e do estabelecimento de controles para garantir sua eficácia. Algumas ferramentas estatísticas, como: variação temporal, relatório resumo, correlação, equações de regressão e cartas de controle para dados individuais, foram empregadas para acompanhar os resultados e validar as ações adotadas. A utilização dessa metodologia trouxe resultados satisfatórios por ser uma solução sem a necessidade de grandes esforços ou investimentos, fácil implementação e com um impacto positivo em um curto espaço de tempo.

A aplicação deste método permitiu uma redução na variabilidade das análises do parâmetro de qualidade de cor entre o campo e o laboratório de controle de qualidade para o *grade* “SP 057RA”. Isso proporcionou maior agilidade na tomada de decisões, minimizando os riscos de perdas e prejuízos.

Adicionalmente, foram realizadas várias ações complementares, como a documentação de POPs, a padronização da Instrução de Trabalho por meio do documento "Lição de um Ponto", a aquisição de materiais adequados para garantir medições precisas, a criação de uma rotina de calibração dos equipamentos e o treinamento de reciclagem dos operadores. Este treinamento foi conduzido pela autora em colaboração com o engenheiro de produção responsável pela planta. Essas iniciativas não apenas aumentaram a confiabilidade dos resultados, mas também promoveram a padronização dos procedimentos, fortalecendo o controle de qualidade ao longo do tempo. Combinados, esses esforços não só aprimoraram o processo, mas também estabeleceram uma base sólida para a continuidade das boas práticas operacionais.

A redução da variabilidade nos dados de medição de cor foi evidenciada por duas abordagens: qualitativa, através da análise visual dos gráficos de dispersão, e quantitativa, por meio da avaliação dos valores médios. Vale mencionar que, como este é um projeto de melhoria contínua em uma indústria de polímeros, o ciclo PDCA pode ser reativado sempre que necessário, possibilitando ajustes e avanços nos processos de forma dinâmica.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D. F. **Gestão pela qualidade**. Volume 3 – Editora Poisson – Belo Horizonte, 2018.
- ANDRADE, F. F. **O Método de Melhorias PDCA**. São Paulo: Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. 169 p. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04092003150859/publico/dissertacao_FABIOFA.pdf. Acesso em: set. 2024.
- ANTÓNIO, N. S.; TEIXEIRA, A.; ROSA, A. **Gestão da qualidade - de Deming ao Modelo de Excelência da EFQM**. 2. ed. rev. e aum. Lisboa: Sílabo, 2016.
- ARAÚJO, A. L. S. **Gestão da Qualidade: implantação das ferramentas 5S's e 5W2H como plano de ação no setor de oficina em uma empresa de automóveis na cidade de João Pessoa-PB**. João Pessoa, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.
- BARBOSA, L. A., DREGER, A. A., MARON, G. M., SANTANA, R. M. C., **Metodologia DMAIC aplicada à solução de problemas em uma planta petroquímica**, Revista Espacios, 2015.
- BEZERRA, F. **Diagrama de Ishikawa: princípio da causa e efeito**, 2014. Disponível em: <https://www.portal-administracao.com/2014/08/diagrama-de-ishikawa-causa-e-efeito.html>. Acesso em: set. 2024.
- BRANDÃO, R. **O que é matriz esforço x impacto**, 2019. Disponível em: <https://www.escoladnc.com.br/blog/conheca-a-matriz-de-esforco-e-impacto/>. Acesso em: set. 2024.
- BRASKEM. **Relatório Integrado - 2020**. Disponível em: https://www.braskem.com.br/portal/Principal/arquivos/relatorio-anual/Braskem_RI20_20_PT.pdf. Acesso em: ago. 2024.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 8. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 1996.
- CAMPOS, V. F. **TQC - Controle da Qualidade Total no Estilo Japonês**. 9. ed. Nova Lima: Falconi, 2014.
- CANEVAROLO, S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber Editora, 2013.
- CHAVES, J. B. P. **Controle de Qualidade na Indústria de Alimentos**. Viçosa: Departamento de Tecnologia de Alimentos (UFV), 1997.

COUTINHO, T. **Veja como priorizar tarefas de forma correta com o auxílio da matriz esforço x impacto**, 2019. Disponível em: <https://voitto.com.br/blog/artigo/matriz-esforco-impacto>. Acesso em: set. 2024.

FALCONI, V. **Gerenciamento pelas Diretrizes**. 2 ed. Belo Horizonte: QFCO, 1996. 331p.

FIEG (Federação das Indústrias do Estado de Goiás) & SENAI (Serviço Nacional de Apoio a Indústria). **Boas Práticas de Fabricação**. Goiânia, 2002.

FORMIGHIERI, G. **Diagrama de Ishikawa: o que é e como desenvolver?**, 2021. Disponível em: <https://keeps.com.br/diagrama-de-ishikawa-o-que-e-e-como-desenvolver/>. Acesso em: set. 2024.

GAO, C., WANG, Y., GAO, Y. et al. **Structure Design, Performance Simulation and Plasticizing Properties of Bio-Based Copolyesters Plasticizer on PVC**. J Polym Environ 30, 4651–4661, 2022.

Gestão pela qualidade na segurança pública, 2007. Disponível em: <http://www.sspj.go.gov.br/policia-comunitaria/aulas-do-curso/gestao-qualidade/materialde-apoio.doc>. Acesso em: ago. 2024.

GOMES, R. L. **Controle de Processos Produtivos em uma Indústria de Alimentos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC. **Análise de Desempenho do Mercado Brasileiro e Acompanhamento de Indicadores Setoriais da Cadeia Produtiva do PVC**. Disponível em: <https://pvc.org.br/2023/07/instituto-brasileiro-do-pvc-divulga-analise-de-desempenho-do-mercado-brasileiro-do-pvc-e-acompanhamento-de-indicadores-da-cadeia-produtiva/#:~:text=Do%20consumo%20aparente%20de%20PVC,f%C3%A1rmaco%20e%201%25%20para%20outros>. Acesso em: ago. 2024.

KAÍZA, J. **Matriz de causa e efeito: aprenda o que é e como aplicar no seu negócio**. Disponível em: <https://voitto.com.br/blog/artigo/matriz-de-causa-e-efeito>. Acesso em: set. 2024.

KANADE, Y., **Why defects like hard particles, specks, and fish eyes appear on the surface of PVC products?**, 2020. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/why-defects-like-hard-particles-specks-fish-eyes-appear-kanade>. Acesso em: set. 2024.

LUCINDA, M. A. **Análise e Melhoria de Processos - Uma Abordagem Prática para Micro e Pequenas Empresas**. Simplíssimo Livros Ltda, f. 66, 2016.

MARSHALL, I. Jr. **Gestão da Qualidade**. 8 ed. Rio de Janeiro - RJ. Editora FGV., 2006.
MELO, C. P.; CARAMORI, E. J. **PDCA Método de melhorias para empresas de manufatura** – versão 2.0. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2001.

MELO, C. P.; CARAMORI, E. J. **PDCA Método de melhorias para empresas de manufatura** – versão 2.0. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2001.

NASS, L. I.; HEIBERGER, C. A. **Encyclopedia of PVC**, Second Edition. [s.l.] CRC Press, 1986. 701p.

NUNES, L. R.; RODOLFO, A. Jr.; ORMANJI, W., **Tecnologia do PVC**. São Paulo: ProEditores / Braskem, 2006.

OLIVEIRA, S. T. **Ferramentas para o aprimoramento da qualidade**. São Paulo-SP: Editora Pioneira. 1996.

PALADINI, E. P. **Qualidade Total na Prática – Implantação e Avaliação de Sistemas de Qualidade Total**. 2 ed. São Paulo: Atlas S.A., 1997.

PEREIRA, M. B. **Dimensionamento, modelagem e simulação de uma coluna de stripping experimental para a remoção de monômero do PVC**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – UFBA/Escola Politécnica – Salvador, 2005.

ROCK CONTENT. **Conheça a matriz de esforço x impacto e saiba como aplicá-la no dia a dia da sua empresa**. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/matriz-de-esforco-x-impacto/>. Acesso em: ago. 2024.

RODOLFO Jr. A.; NUNES, L. R.; ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**, 2. ed., ProEditores, São Paulo, 2006.

SAEKI, Y.; EMURA, T. **Technical progresses for PVC production. Progress in Polymer Science**, v. 27, n. 10, p. 2055–2131, dez. 2002.

SANTIS, S. H. S. **A implantação de sistema de qualidade em uma indústria têxtil de malharia de pequeno porte**. 2013. Universidade de São Paulo, 2013.

SLACK, N. et. al. **Administração da produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1996.

SUMMERS, J. W. (1997). **A review of vinyl technology. Journal of vinyl & additive technology**. (3), 130-139.

TAVARES, F. M. **“Diagrama de Causa e Efeito” ou “Diagrama Espinha-de-peixe”**. 12 ago. 2012. Disponível em: <https://marketingfuturo.com/diagrama-de-causa-e-efeito-ou-diagrama-espinha-de-peixe/>. Acesso em: set. 2024.

WERKEMA, M. C. C. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.