

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

CAROLINA ROMA

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE DEFEITOS DE PINTURA TOP COAT E
VISCOSIDADE DA TINTA EM RODAS DE AÇO E DESENVOLVIMENTO DE UM
GRÁFICO DE CONTROLE

Lorena

2021

CAROLINA ROMA

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE DEFEITOS DE PINTURA TOP COAT E
VISCOSIDADE DA TINTA EM RODAS DE AÇO E DESENVOLVIMENTO DE UM
GRÁFICO DE CONTROLE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de
São Paulo como requisito para conclusão da
graduação em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Rodolfo Miguel Batista

Lorena

2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Roma, Carolina

Análise da relação entre defeitos de pintura top coat e viscosidade da tinta em rodas de aço e desenvolvimento de um gráfico de controle
desenAnálise da relação entre defeitos de pintura top coat e viscosidade da tinta em rodas de aço e desenvolvimento de um gráfico de controle / Carolina Roma; orientador Fábio Rodolfo Miguel Batista. - Lorena, 2021.
69 p.

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia Química - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2021

1. Controle de processo. 2. Viscosidade. 3. Falha de pintura. 4. Tinta. I. Título. II. Batista, Fábio Rodolfo Miguel, orient.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida, pela oportunidade de realizar este trabalho e com ele continuar aprendendo.

Aos meus pais e familiares por todo amor e apoio.

Aos meus amigos pelo companheirismo, suporte e união durante todo o curso. Ao meu orientador Fábio pelo suporte e por compartilhar sua experiência técnica científica. Por toda a sua atenção, paciência e amizade durante esse período.

A todos os professores e colaboradores da Escola de Engenharia de Lorena pelos ensinamentos.

Aos professores constituintes da banca pelo tempo dedicado a avaliação do meu trabalho.

Agradeço enfim a todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

RESUMO

ROMA, Carolina. **ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE DEFEITOS DE PINTURA TOP COAT E VISCOSIDADE DA TINTA EM RODAS DE AÇO E DESENVOLVIMENTO DE UM GRÁFICO DE CONTROLE**. 2021. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Lorena, 2021.

Historicamente, observa-se que o desenvolvimento de empresas acompanha a otimização dos seus processos. Independente de qual seja o produto oferecido pela empresa, deseja-se sempre atender às necessidades dos clientes, utilizando o mínimo de recursos, tornando processos sucintos, reduzindo gastos e evitando desperdícios. Assim, uma forma de atingir esse objetivo é utilizar ferramentas de controle de processos (estatísticos ou não) que irão auxiliar na identificação de desvios dos processos, para que esses se mantenham dentro dos parâmetros especificados. Este controle é ainda mais importante quando as matérias primas utilizadas são caras, ou, entre outros fatores, geram muitos resíduos, pois produtos fora dos padrões exigirão retrabalho. No caso da pintura de rodas agrícolas, a tinta é o principal insumo e exige controle muito aprimorado, uma vez que sutis desvios do processo podem gerar falhas de pintura que não serão aceitas pelo cliente. Desse modo, esse trabalho teve por objetivo analisar a relação entre os principais defeitos de pintura encontrados e a viscosidade da tinta e, com isso, propor uma nova faixa de viscosidade de trabalho que seja mais favorável ao processo, proporcionando uma maneira mais aprimorada de controlar essa viscosidade, para possibilitar a estabilização do processo. Para alcançar esse objetivo, desenvolveu-se uma ferramenta gráfica de controle da viscosidade com base na proporção tinta e solvente, relacionando essa grandeza com a temperatura ambiente as quais as tintas estão sujeitas. Como resultado da alteração da faixa de trabalho da viscosidade, o processo foi estabilizado e a quantidade de defeitos de pintura encontrada nas rodas foi reduzida drasticamente, além do consumo de tinta em mililitros por metros quadrado também ter sido reduzido.

Palavras chave: controle de processo, falhas de pintura, tintas e viscosidade.

ABSTRACT

ROMA, Carolina. ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PAINT DEFECTS TOP COAT AND VISCOSITY OF THE PAINT ON STEEL WHEELS AND DEVELOPMENT OF A CONTROL CHART. 2021. 69 f. TCC (Graduação) – Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Lorena, 2021.

Historically, it has been observed that the development of companies accompanies the optimization of their processes. Regardless of the product offered by the company, it is always desired to meet the needs of customers, using the minimum resources, making processes succinct, reducing costs and avoiding waste. Thus, one way to achieve this goal is to use process control tools (statistical or not) that will assist in identifying process deviations, so that they remain within the specified parameters. This control is even more important when the raw materials used are expensive, or, among other factors, generate a lot of waste, as non-standard products will require rework. In the case of painting agricultural wheels, paint is the main input and requires much improved control, since subtle deviations from the process can lead to paint failures that will not be accepted by the customer. Thus, this work aimed to analyze the relationship between the main paint defects found and the viscosity of the paint and, with this, to propose a new range of work viscosity that is more favorable to the process, providing a better way to control this viscosity, to allow the process to stabilize. To achieve this objective, a graphic tool for viscosity control was developed based on the ink-solvent ratio, relating this quantity to the ambient temperature to which the inks are subject. As a result of the change in the viscosity working range, the process has been stabilized and the amount of paint defects found on the wheels has been drastically reduced, and the consumption of paint in milliliters per square meter has also been reduced.

Keywords: process control, paint failures, paints and viscosity.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Composições de resinas e desempenho.	28
Quadro 2: Cor obtida a partir de pigmentos inorgânicos e orgânicos.	29
Quadro 3: Classificação da tinta de acordo com a natureza do veículo fixo.	33
Quadro 4: Comparação entre tintas à base de óleo e tintas à base de água.	35
Quadro 5: Fenômenos que ocorrem ou podem ocorrer durante impressão por jato de tinta e sua relação com propriedades físicas e químicas da tinta.	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de carta de controle	24
Figura 2: Comparação entre C_p e C_{pk}	26
Figura 3: Relação entre dimensão de partículas absorventes de UV e proteção.	27
Figura 4: composição básica das tintas.....	27
Figura 5: Lado esquerdo apresenta roda com cobertura correta e lado direito apresenta baixa cobertura.....	38
Figura 6: Rodas com tinta escorrida.	39
Figura 7: Classificação dos fluidos.....	41
Figura 8: Gráfico viscosidade e força de cisalhamento.	42
Figura 9 – Esquema simplificado da área de pintura agrícola.....	44
Figura 10: Viscosímetro copo Ford número 4.	49
Figura 11: Planilha de defeitos x viscosidade utilizada no estudo referente ao mês de julho/2020.	52
Figura 12: Gráfico de Pareto para o defeito de baixa cobertura.	53
Figura 13: Gráfico de Pareto para o defeito de tinta escorrida.	53
Figura 14: Gráfico de Pareto para os defeitos somados de baixa cobertura e de tinta escorrida.....	54
Figura 15: Regressão quadrática da temperatura versus viscosidade da tinta pura.	56
Figura 16: Regressão quadrática da temperatura versus a viscosidade da tinta com 5% de solvente.	56
Figura 17: Regressão quadrática da temperatura versus a viscosidade da tinta com 7,5% de solvente.....	57
Figura 18: Viscosidade versus temperatura da tinta com diferentes proporções de tinta e solvente.....	58
Figura 19: Foto de uma das rodas do primeiro teste que não apresentou defeitos de pintura.	59
Figura 20: Detalhe nas bordas da gravação que apresentaram resultados satisfatórios.....	60
Figura 21: Detalhe do teste de aderência.	60
Figura 22: resultado do teste em larga escala na região do parafuso que apresentava bastante escorrimento.	62
Figura 23: detalhe da cobertura de borda.....	62
Figura 24: teste de aderência que apresentou resultado excelente.....	63

Figura 25: Cartas de controle da espessura de camada do processo em outubro de 2020 (a) e em janeiro de 2021 (b).	64
Figura 26: Relatório de capacidade do processo para camada.	65
Figura 27: Consumo de tinta em ml/m ² antes e depois nas alterações dos parâmetros de viscosidade da tinta.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Interpretação dos valores de C_p	25
Tabela 2: Dados de temperatura versus viscosidade da tinta com diferentes proporções de solvente.	57

LISTA DE SIGLAS

UV Ultravioleta

CEP Controle estatístico de processo

LC Limite central

LS Limite superior

LI Limite inferior

PVA Polivinila

PVC Policloreto de vinila

APT Associação Portuguesa de Tintas

LISTA DE SÍMBOLOS

Cp, Cpk Índices de capacidade

μ Micro, um milionésimo

V Volt

N Newton

m Metro

Pa Pascal

s Segundo

cm Centímetro

°C Graus Celsius

g Grama

SUMÁRIO

1.1	Enunciado do problema	17
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.1	Objetivos específicos	18
1.3	Justificativa	19
2.	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1	Otimização de processos	21
2.2	Controle estatístico de processo	22
2.2.1	Cartas de controle	23
2.2.2	Capacidade de processo	25
2.3	Tintas	26
2.3.1	Resina	27
2.3.2	Pigmentos	29
2.3.3	Porção líquida	30
2.3.4	Aditivos	31
2.3.5	Classificação	32
2.3.6	Tintas base óleo	34
2.4	Falhas de pintura	37
2.5.1	Baixa cobertura	38
2.5.2	Tinta escorrida	39
2.5	Viscosidade	39
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1	Método de pesquisa	43
3.1.1	Isolar a viscosidade como responsável pelos defeitos	44
3.1.2	Análise da capacidade e estabilidade do processo	45

3.1.3 Fatores externos.....	46
3.1.4 Definir o método experimental.....	46
3.1.5 Definir viscosidade alvo	47
3.1.6 Teste piloto, revisão e teste	48
3.1.7 Análise dos resultados obtidos	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Analise com princípio de pareto	51
4.2 Construção das curvas de viscosidade.....	55
4.3 Testes em linha	58
4.3.1 Teste em pequena escala	58
4.3.2 Teste em larga escala.....	61
4.4 Análise de estabilidade.....	63
5. CONCLUSÃO	66
6. REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enunciado do problema

Segundo Lima (1992), pode-se dizer que, desde o surgimento da indústria no sistema produtivo, a qualidade e a quantidade dos produtos sempre foram uma preocupação latente, sendo que, a princípio, a quantidade era mais importante do que a qualidade. Conforme a sociedade se desenvolveu, questões como agressão à natureza, desperdício de matéria prima, economia de energia, foram gradualmente tornando-se relevantes no cenário industrial. O autor ainda afirma que, mesmo no início do desenvolvimento da indústria, quando somente a quantidade produzida era relevante, existia um controle industrial, embora bem rudimentar, uma vez que já era notória a necessidade de controlar os processos.

Assim, atualmente, com o auxílio da tecnologia, indústrias buscam otimizar processos, reduzir custos, satisfazer os clientes e, conseqüentemente, maximizar lucros. Para isso, faz-se importante considerar as características do sistema como um todo, de forma a garantir o controle de qualidade e a economia de recursos. Diante dessa situação, surgiu a necessidade de implementar ferramentas de controle e monitoramento das etapas do processo de produção. Essas ferramentas são responsáveis por reduzir falhas, evitar gargalos, bem como diminuir os custos e o retrabalho decorrentes desses fenômenos, já que, além de determinadas matérias-primas serem especialmente onerosas, podem também ser tóxicas ao ambiente quando precisam ser descartadas (JESUS, 2017). Paladini (2005) afirma que sete ferramentas possuem maior relevância nesse contexto, sendo elas: Fluxograma, Gráfico de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Folhas de Verificação, Controle Estatístico de Processo, Histograma e Diagrama de Dispersão.

O desafio de controlar os processos não é diferente na empresa automotiva evidenciada nesse estudo, a qual, como uma companhia global, é líder nos segmentos em que atua. No caso particular da pintura Top-Coat de rodas agrícolas e de caminhões, o controle do processo é de extrema necessidade, uma vez que as tintas e demais componentes como solventes, catalisadores, são extremamente caros. Assim, pequenos desvios da idealidade de processo podem produzir gastos demasiadamente elevados se o erro não for prontamente identificado, isso por que, peças que apresentaram defeitos deverão ser retrabalhadas, ou, em casos mais extremos, precisarão ser decapadas ou sucateadas, gerando custos elevados à empresa.

Assim, uma maneira de corroborar para a melhoria contínua nas operações da empresa, é prover um meio de reduzir a quantidade de defeitos na pintura de rodas. Desse modo, uma forma de fazer isso é a utilização do controle estatístico, uma ferramenta relativamente simples e eficaz para assegurar qualidade e baixa variabilidade, aliado a um gráfico que permita controlar parâmetros como a viscosidade da tinta conforme a variação de temperatura que essa está diariamente submetida, variando-se a proporção tinta solvente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a relação entre a quantidade de defeitos de pintura em rodas automotivas de uma cor específica (amarela) com a sua viscosidade e desenvolver um diagrama de controle relacionando temperatura, viscosidade e a proporção solvente-tinta.

1.2.1 Objetivos específicos

Visando alcançar o objetivo geral destacado anteriormente, alguns objetivos específicos são necessários, entre eles:

- Identificar a viscosidade em que os defeitos de pintura são os menores possíveis;
- Identificar e caracterizar os defeitos de pintura presentes nas rodas;
- Correlacionar e quantificar a variação dos parâmetros controlados atualmente com os defeitos encontrados.

1.3 Justificativa

Este projeto é justificado com base na necessidade de excelência no atendimento ao cliente, aliado à garantia da qualidade com o mínimo custo e maior eficiência em processos. A empresa alvo desse estudo preza por uma manufatura enxuta e dinâmica, almejando sempre segurança, qualidade, produtividade e entrega. Desse modo, a redução das perdas é muito valorizada e isso é possibilitado através da melhoria contínua dos processos.

O mercado consumidor se mostra cada vez mais exigente, ao passo que a competitividade entre as empresas aumenta. Por causa disso, cada vez mais se busca ouvir a voz do cliente e agir de modo a satisfazer suas reais necessidades, no menor tempo possível, sem perder a qualidade. Esta, antes de tudo, significa ser capaz de corresponder às expectativas dos clientes e saber distinguir claramente o que ele considera importante, para, a partir desse ponto, direcionar as ações na tentativa de concretizar seus desejos (PIEROZAN, 2001).

A pintura Top-Coat de rodas está, em um primeiro momento, associada somente ao aspecto visual. No entanto, ela desempenha, de fato, outras funções tais como a proteção da matéria prima da própria roda (o aço), além da proteção a todo tipo de intempérie ambiental. De modo simplificado, a pintura Top-Coat é responsável pela proteção da roda contra raios ultravioleta (UV) provenientes do sol. Em rodas de caminhões e maquinários agrícolas, os quais se configuram como instrumentos de trabalho, essa proteção é indispensável, uma vez que estão constantemente expostas a todo tipo de agressividade causada pelo ambiente. Dessa maneira, o controle de defeitos de pintura no produto final é justificado porque ele será utilizado de forma quase ininterrupta e também pelo preço de aquisição do produto ser elevado, o que torna completamente inviável a troca constante do mesmo, e exige a garantia de inexistência de defeitos no momento da venda.

A observação dos parâmetros controlados nas tintas acrílicas utilizadas na pintura das rodas revela que a viscosidade é aquela que apresenta maiores variações durante os meses observados. Assim, uma vez que a alteração da viscosidade da tinta pode modificar suas propriedades, é possível que esta variação esteja relacionada à quantidade de defeitos encontrados, especialmente em tintas com maior tixotropia como é o caso da tinta amarela, objeto deste estudo. Sabe-se que a viscosidade de qualquer líquido varia de acordo com a temperatura, logo a variação da temperatura ambiente exerce influência direta sobre a tinta.

Aliado a isso, quantidade de falhas de pintura constatadas em cada dia também varia com a sua viscosidade.

Portanto, o diagrama que será desenvolvido servirá para auxiliar no controle do processo de pintura, provendo informações sobre como corrigir a viscosidade da tinta de acordo com a temperatura de cada dia, com base na proporção de solvente que será adicionada, sem descumprir as especificações de máximo e mínimo que pode ser adicionado. A minimização dos defeitos de pintura é a principal aliada nos combates de retrabalhos relacionados à pintura, uma vez que tintas são insumos onerosos, e na garantia da satisfação do cliente.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Otimização de processos

A engenharia é a área da ciência que une conhecimento científico com conhecimento empírico e visa satisfazer as necessidades do homem, sendo repleta dos mais variados sistemas. A engenharia química, particularmente, é o ramo que estuda a termodinâmica, os fenômenos de transporte e a dinâmica de processos.

Com o avanço da informática, da computação e do desenvolvimento dos métodos numéricos no fim do século XX, a engenharia foi grandemente beneficiada, principalmente nas áreas de processo e projeto. Isso ocorreu devido à otimização de operações e processos ter sido facilitada, por causa do emprego de instrumentos de sensoriamento e controle remoto. A associação dos recursos da informática com as habilidades geradas pelos métodos numéricos provocou uma evolução na formação dos engenheiros químicos e produziu uma nova terminologia denominada engenharia química avançada. Esta, aliada à computação, desenvolve uma nova especialidade: a engenharia de processos químicos (ZAKON; PESSOA, 2014). De acordo com Perlingeiro (2005), essa engenharia surgiu pela necessidade de aprimoramento dos processos industriais e não somente dos equipamentos.

De acordo com d'Ávila (1982), uma das primeiras definições da engenharia de processos químicos foi a de que ela, de uma forma ampla, pode ser definida como a criação e qualificação de esquemas dos processos constituintes de uma planta química, visando a máxima economicidade, facilidade de operação e segurança. Além disso, a engenharia de processos compreende três áreas principais: desenvolvimento de processos, projeto de processos e aperfeiçoamento de processos.

Atualmente, quase a totalidade das empresas já se conscientizaram de que a venda de produtos de baixa qualidade reduz a sua competitividade no mercado a longo prazo, principalmente em empresas de bens de consumo duráveis, como é o caso. Desse modo, a implementação de ferramentas de controle se apresenta como uma forma de melhoria contínua e otimização de processos, uma vez que auxilia a identificação rápida de desvios de processo, conseqüentemente, a eliminação de desperdícios, a redução do número de produtos defeituosos e o aumento da satisfação dos clientes (PIEROZAN, 2001).

2.2 Controle estatístico de processo

Com os avanços nas indústrias, surgiram ferramentas estatísticas com o objetivo de auxiliar na melhoria da qualidade. Uma dessas ferramentas é o Controle Estatístico de Processo (CEP) que, além de auxiliar na identificação da variabilidade, na melhoria da qualidade, na competitividade industrial e na redução das perdas, auxilia, também, nas tomadas de decisões de todos os setores de uma organização (PEREZ; PAULISTA, 2015).

A premissa do CEP é controlar o comportamento de variáveis ao longo do tempo, através da inspeção por amostragem, com o objetivo de reduzir a variabilidade do processo, monitorando e estimando os parâmetros dos produtos (MONTGOMERY, 1991). O monitoramento dos processos através de inspeção por amostragem é uma maneira mais barata e despende menos tempo, se comparado à inspeção de 100% dos produtos, inviável para grandes empresas (PIEROZAN, 2001)

Segundo Pierozan (2001), o CEP fornece uma descrição detalhada do comportamento do processo, o que permite identificar padrões de variabilidade e controlar o processo ao longo do tempo, através da coleta continuada de dados. A análise dos dados coletado permite a identificação de padrões de comportamento, proporcionando previsibilidade ao processo. Isso é extremamente vantajoso, uma vez que torna possível o bloqueio de possíveis causas especiais, a identificação rápida de anomalias e torna o processo mais consistente.

Atualmente, o controle de processos envolve produção, estoque, qualidade, recursos, capital e é realizado por métodos estatísticos sofisticados. Esses métodos garantem a qualidade de matéria prima, analisam as variáveis do processo, as condições de cada equipamento e proporcionam, por fim, a satisfação dos clientes (LIMA, 1992).

De acordo com Pierozan (2001), há relatos em pesquisas de empresas que não obtiveram sucesso utilizando o CEP, no entanto, o autor destaca que esse controle é definido como um “modo de pensar” e que, junto ao método, deve ser praticado o pensamento estatístico. Assim, o foco deve estar localizado no processo e não no produto. Por isso, o que impacta diretamente na qualidade do produto final é agir no processo, para atingir a meta de zero defeitos.

2.2.1 Cartas de controle

No início da década de 1920, foram criados os primeiros gráficos de controle, nos quais era possível observar diferentes tipos de variações. Esses gráficos foram de extrema importância, pois, por mais seguro que seja um processo, ele não está isento de variações. Estas são decorrentes de perturbações do meio interno e/ou externo, que podem ter ligação direta ou indireta com a linha produtiva (PIEROZAN, 2001).

Segundo Werkema (1996), a variabilidade é o resultado de alterações nas condições sob as quais observações são tomadas. Estas alterações podem ser reflexo de diferenças entre as matérias primas, das condições dos equipamentos, dos métodos de trabalho de diferentes operadores, das condições ambientais de um determinado dia, entre vários outros fatores. Ela ainda pode ser derivada do sistema de medição utilizado. Dessas variações tem-se as causas comuns, que são naturais do processo, porém são de difícil identificação e eliminação. Além disso, tem-se também as variações de causas especiais, as quais não exigem uma mudança de alto custo para a empresa, sendo de fácil identificação e eliminação (OAKLAND, 2003).

No entanto, é importante ressaltar que a variabilidade intrínseca está presente em todos os processos. Assim, quando está de baixa magnitude e não produz efeitos no resultado final do processo, ou quando é elevada, porém controlada, diz-se que o processo está estabilizado ou sob controle estatístico (PIEROZAN, 2001).

Outro tipo de variação que pode ocorrer, como citado anteriormente, é a variação dita como provocada por causas especiais. Essa variação é geralmente maior do que a variação comum e pode levar a grandes desvios no processo e queda de desempenho. De acordo com Ribeiro e Caten (2011), esse tipo de variabilidade causa danos aos produtos do processo produtivo. No entanto, é de fácil identificação e sua eliminação não necessita de alto investimento. Quanto menor a variabilidade, maior a qualidade de um produto. Por causa disso, o CEP é relevante, para detectar rapidamente falhas e desvios, para que possam ser corrigidos. As principais causas estão associadas a má utilização de máquinas e equipamentos, erro no procedimento dos operadores e matérias primas defeituosas (MONTGOMERY, 1991).

Considerando que o CEP é uma ferramenta estatística utilizada para identificar as causas especiais que atribuem anormalidades para o processo, o objetivo da sua utilização

Assim, uma carta típica, como a apresentada na figura Figura 1, possui algumas características como: média, ou limite central (LC), que é o valor alvo das características atribuídas no produto, limite superior (LS) e limite inferior (LI) de especificação. Para que um processo seja considerado estável ou sob controle estatístico, os pontos plotados no gráfico devem permanecer dentro dos limites de especificação e apresentar comportamento aleatório. Caso ocorra de algum ponto extrapolar os limites de especificação, ou apresentar comportamento tendencioso ou não aleatório é necessário que haja ação imediata sobre a causa, impedindo que produza vários produtos não conformes (EVANS, 1994).

Gráfico de Média de Desempenho em Matemática (Y) versus Ano (X).

Legenda:

- Limite Cont. Superior = 84,5716
- Limite Cont. Inferior = 63,0284
- Linha Central = 73,8
- Causas Especiais (Pontos vermelhos)

Ano	Média	Causas Especiais
4	76,5	Não
5	73,5	Não
6	73,5	Não
7	75,5	Não
8	78,5	Não
9	72,5	Não
10	67,5	Não
11	76,5	Não
12	77,5	Não
13	72,5	Não
14	71,5	Não
15	82,5	Não
16	68,5	Sim
17	71,5	Sim
18	66,5	Sim
19	69,5	Sim
20	65,5	Sim
21	62,5	Sim
22	64,5	Sim
23	65,5	Sim

Há dois tipos de gráficos de controle, os quais diferem em relação à classificação das características. No primeiro tipo, o gráfico de controle por variáveis, as características são expressas em escala contínua, por meio quantitativo, utilizada geralmente no caso de medições, como comprimentos, pesos e temperaturas. Já no segundo tipo de gráfico, por atributos, em que as variáveis são discretas, as características são expressas em escala qualitativa, geralmente utilizado para contagens. (MONTGOMERY, 2004; ROSÁRIO, 2004).

2.2.2 Índices de capacidade de processo

Os índices de capacidade são valores calculados a partir dos dados coletados do processo que permitem a quantificação do seu desempenho. Para isso, esse estudo necessita de informações do processo tais como, a distribuição da variável que está sendo monitorada, a média, a variabilidade e os limites estabelecidos do processo.

Segundo Pierozan (2001), para que seja possível avaliar a capacidade de um processo, este deve estar sob controle estatístico, ou seja, sem que existam causas especiais atuando sobre ele. Uma vez sem essa interferência, utiliza-se de uma comparação dos limites naturais do processo com a amplitude das especificações exigidas do processo e tem-se assim, dois índices de capacidade, o Cp e o Cpk.

O Cp é utilizado quando é possível assumir que o processo está centrado no valor médio, visto que o cálculo desse índice considera apenas as especificações do processo e a variabilidade dele. O Cp compara a tolerância especificada com a variação potencial do processo, assim, pode-se dizer que o Cp indica a capacidade potencial do processo (PIEROZAN, 2001).

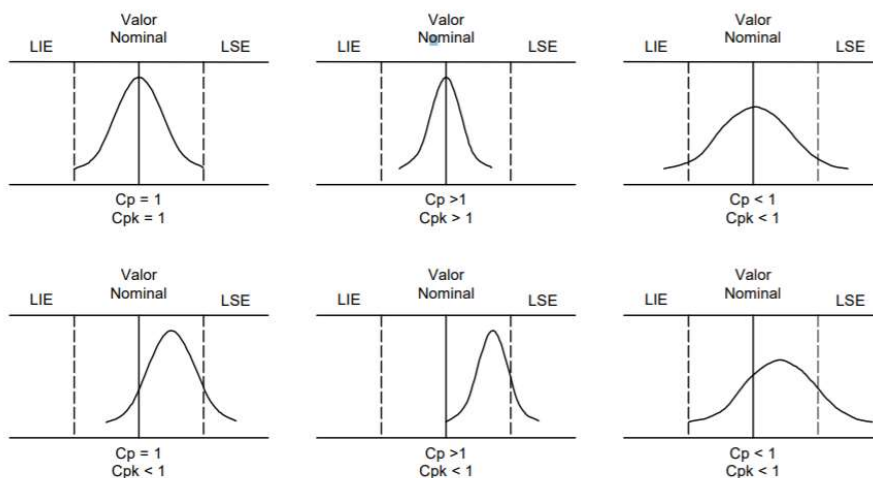
Por outro lado, o Cpk avalia a localização e a variação (entre e dentro dos subgrupos) do processo. A capacidade entre/dentro indica a capacidade que o processo poderia alcançar se fontes sistêmicas da variação total do processo, além da variação dentro e entre os subgrupos, fossem eliminadas. Em geral, valores de Cpk mais elevados indicam um processo mais capaz. Os valores mais baixos de Cpk indicam que talvez o processo precise de melhorias. Assim, quando o processo estiver centrado na média, os valores de Cp e Cpk serão iguais. A Figura 2 ilustra uma comparação entre Cp e Cpk, na qual LIE é o Limite Inferior de Especificação e LSE é o Limite Superior de Especificação e a Tabela 1 indica a interpretação do valor do Cp (PIEROZAN, 2001).

Tabela 1: Interpretação dos valores de Cp.

Cp	Interpretação
$Cp < 1$	Processo incapaz
$1 \leq Cp \leq 1,33$	Processo aceitável
$Cp > 1,33$	Processo potencialmente capaz

Fonte: adaptado de Corrêa e Vasconcelos (2015).

Figura 2: Comparação entre Cp e Cpk.



Fonte: (MONTGOMERY, 1991).

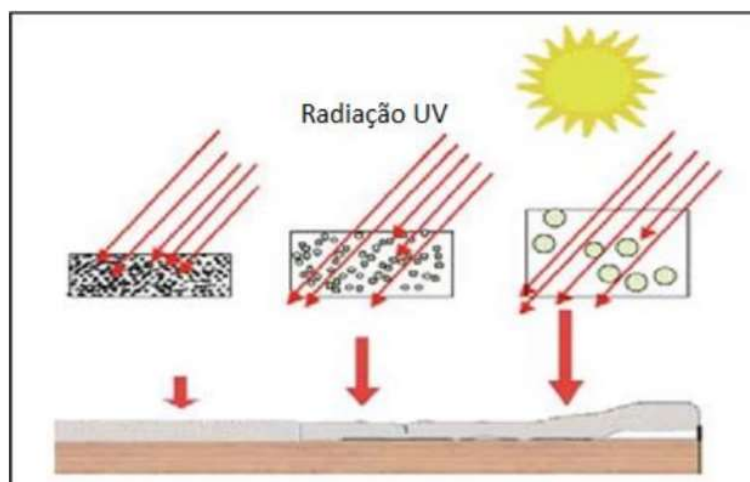
2.3 Tintas

De acordo com Picolotti (2019), empresas apresentam uma preocupação constante em manter seus produtos no mercado. Quando essas empresas utilizam tintas como matéria prima, essa geralmente é uma questão muito relevante e desafiadora, visto que é um insumo caro e que atualmente existem diversos fornecedores com diferentes categorias que conferem diferentes efeitos. Desse modo, o desafio é obter uma única tinta que consiga atingir o maior número de requisitos possível, além do aspecto visual, que seja capaz de proteger, aderir, resistir ao intemperismo e ao maior número de substratos diferentes.

Segundo Rosa (2014), tinta é uma composição geralmente líquida e viscosa, composta por um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerado líquido que, ao sofrer um processo de cura quando estendida em película fina, forma um filme opaco e aderente ao substrato. Esse filme apresenta várias finalidades em diferentes materiais em que é aplicado, mas usualmente provê proteção e embelezamento.

As tintas são materiais complexos, assim, entender a relação causa e efeito entre composição e propriedades conferidas é importante para que se obtenha uma tinta eficaz para a finalidade desejada. Um exemplo é o exibido na Figura 3, que mostra que quanto menores e mais finas forem as partículas absorventes de radiação ultravioleta, melhor será a proteção e durabilidade da superfície, no caso de um objeto que está exposto à luz solar diariamente (SILVA, 2013).

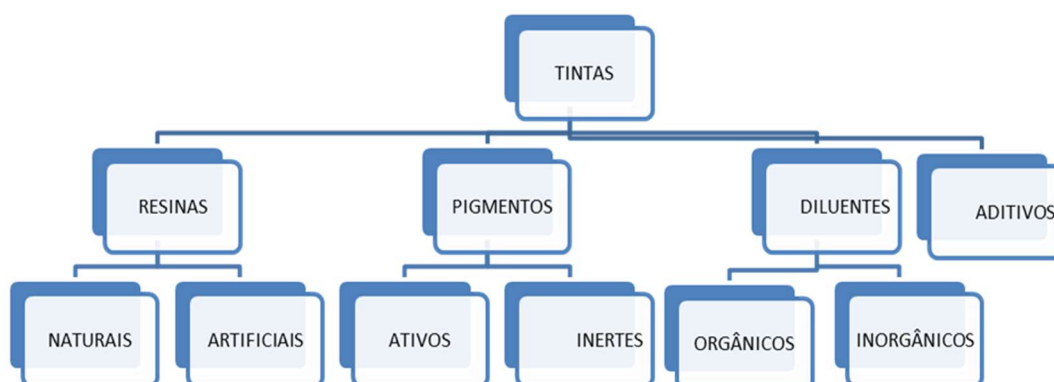
Figura 3: Relação entre dimensão de partículas absorventes de UV e proteção.



Fonte: (SILVA, 2013).

As tintas, independente da sua base, são constituídas de quatro componentes básicos: resina, pigmento, porção líquida e aditivos. A Figura 4 ilustra a composição das tintas, que será detalhada nos tópicos seguintes.

Figura 4: composição básica das tintas.



Fonte: (ROSA, 2014).

2.3.1 Resina

A resina é a parte não-volátil, também chamado de “veículo sólido”, geralmente um polímero, formada por um material ligante ou aglomerante. Além disso, é encarregada da formação do filme, bem como de dar à tinta diversas propriedades, como resistência química e mecânica, brilho, dureza, flexibilidade e adesão. Sem a presença da resina, todos os demais componentes da tinta não teriam aderência ao substrato. A resina acrílica possui boa resistência à radiação ultravioleta, o que provê menor tendência ao envelhecimento, uma vez que diminui a calcinação (PILZ, 2004; POLITO, 2006). Além disso, são bem

resistentes à água, impedindo a formação de mofo e de algas, o que tende a diminuir a sujeira acumulada nos substratos. Devido à sua resistência à formação de bolhas, a resina proporciona adesão superior em condições úmidas e diminui a probabilidade de deslocamento da tinta na superfície (DORNELLES, 2008).

Quando a pintura é aplicada e seca, seu poder de aderência à superfície deve-se à resina que, dependendo do tipo e quantidade adicionada à formulação da tinta, será fundamental para dar resistência ou retenção de cor, brilho, flexibilidade ao filme e, finalmente, durabilidade. Portanto, pode-se dizer que uma tinta com pouca ou nenhuma resina terá uma performance deficiente e, conseqüentemente, uma durabilidade extremamente baixa (POLITO, 2006). A seguir, tem-se o Quadro 1 que relaciona diferentes composições de resinas com desempenho em diferentes quesitos.

Quadro 1: Composições de resinas e desempenho.

Propriedade	Luz solar	Ambientes úmidos ou imersão	Resistência		Solventes	Dureza	Estabilidade ao calor	Cores	Custo relativo
			Abrasão	Atmosfera ácida					
Hidrocarbonetos	1	5	2	5	0	1	0	limitada	1,00
Nitrocelulósicas	2	1	2	2	1	1	0	todas	1,90
Borracha clorada	2	5	3	5	0	2	1	muitas	3,80
Borracha clorada/alquídica	3	2/3	2	2/3	0	1	2	todas	2,80
Vinílica/alquídica	3	3	2	3	2	1	2	todas	3,90
PVC copolimerizado	3	5	3	5	2	2	3	todas	5,50
PVC	3	5	5	5	2	2	4	restrições	6,00
Vinil/acrílica	4	4	3	4	2	2	3	todas	5,20
Acrílica	5	3	3	3	2	2	3	todas	4,60
Epóxi poliamida	2	4/5	4	4	4	3	4/5	restrições	6,60
Epóxi poliamina	2	4/5	5	5	5	4	4/5	restrições	7,00
Poliuretano aromático	2	3	5	4	5	4	4/5	restrições	7,00
Poliuretano alifático	5	3	5	5	5	4	4/5	todas	10,40

Legenda: 5 - Excelente 4 = Muito bom 3 = Regular 1 = Insuficiente 0 = Não indicado

Fonte: adaptado de Polito, (2006).

2.3.2 Pigmentos

Pigmentos são materiais sólidos, orgânicos ou inorgânicos, finamente divididos e insolúveis no meio, cuja finalidade é conferir cor, opacidade, poder de cobertura, proteção anticorrosiva, entre outros efeitos (PILZ, 2004).

O dióxido de titânio, pigmento branco mais empregado na formulação das tintas, é um dos ingredientes que melhora a qualidade da tinta, garantindo alto poder de cobertura, alvura, durabilidade, brilho e opacidade (POLITO, 2006).

Na maioria das vezes, pigmentos são pós metálicos, que influenciam muitas das suas propriedades, incluindo a durabilidade, resistência à corrosão e resistência ao fogo. Podem ainda ser divididos segundo pigmentos orgânicos, em que a molécula é orgânica, e inorgânicos, em que a molécula é constituída por um óxido metálico ou por um sal metálico de um ácido inorgânico, de acordo com o Quadro 2 (SILVA, 2013).

Quadro 2: Cor obtida a partir de pigmentos inorgânicos e orgânicos.

COR	INORGÂNICO	ORGÂNICO
Preto	Carbono Preto Carbonato de Cobre Dióxido de Manganês	Anilina Preta
Amarelo	Cromatos de Zinco Chumbo e Bário Sulfureto de Cádmio Óxidos de Ferro	Azo Amarelo de Níquel
Azul/Violeta	Azul Ultramar Azul da Prússia Cobalto Azul	Ftalocianina Azul Indanthrone Azul Carbazol Violeta
Verde	Óxido de Crômio	Ftalocianina Verde
Vermelho	Óxido de Ferro Vermelho Seleneto de Cádmio Chumbo Vermelho Cromo Vermelho	Toluidina Vermelha Quinacridona
Branco	Dióxido de Titânio Óxido de Zinco Óxido de Antimônio Carbonato de Chumbo (Básico)	-

Fonte: (SILVA, 2013).

Há também os denominados “extenders” ou “cargas” os quais são classificados como pigmentos, apresentando-se inertes e tendo como principais exemplos o carbonato de

cálcio, silicatos de magnésio e de alumínio, sílica, etc. Essas substâncias são adicionadas às tintas com objetivo de aumentar o volume, sem acrescentar praticamente nada em seu custo (POLITO, 2006).

Os pigmentos podem ser divididos em orgânicos e inorgânicos. Os inorgânicos são todos os pigmentos brancos, cargas e uma grande faixa de pigmentos coloridos, que podem ser sintéticos ou naturais. Já os orgânicos são substâncias corantes insolúveis e normalmente não apresentam características ou funções anticorrosivas.

2.3.3 Porção líquida

O solvente é caracterizado por ser um líquido volátil, de baixo ponto de ebulição, utilizado para solubilizar a resina e conferir viscosidade adequada ao produto. A correta seleção e proporção dos solventes implica em boas propriedades da tinta líquida e bom desempenho após a aplicação (PILZ, 2004; POLITO, 2006).

Embora apresente diferentes proporções, dependendo da finalidade da tinta, o solvente é responsável por manter os pigmentos e as resinas dispersos em um estado fluido ou com baixa viscosidade, tornando a tinta fácil de aplicar. Após a aplicação da tinta, a porção líquida evapora e deixa atrás uma película de pigmentos estruturada com a resina. A porção volátil mais frequente nas tintas à base de óleo são: a trupertina (solvente destilado do pinheiro) e os derivados do petróleo como xilol, butil, etc., que dissolvem a resina. São os produtos que tem a capacidade de dissolver outros materiais sem alterar suas propriedades químicas (POLITO, 2006).

A solubilização da resina é necessária para que haja um melhor contato da tinta com o substrato, favorecendo a aderência. A utilização de solventes inadequados, que não tenham poder de solvência sobre a resina, pode causar problemas, como a coagulação ou precipitação da resina, perda de brilho, diminuição da resistência à água. Geralmente, são utilizadas composições de solventes com diferentes pontos de ebulição, de maneira que os solventes “ mais leves” formam a película logo após a aplicação, evitando o escorrimento, e os “ mais pesados” possibilitam a correção de imperfeições como marcas de pincel e crateras (POLITO, 2006).

2.3.4 Aditivos

Aditivos são componentes presentes em pequena quantidade na tinta (1 a 3%) e têm como função proporcionar características especiais ou melhoria nas propriedades. Além disso, são utilizados durante o processo de fabricação da tinta e podem influenciar na manufatura, estabilidade, aplicabilidade, qualidade e aspecto do filme aplicado. Entre aditivos comuns encontram-se: conservantes, para prolongar a validade da tinta; fungicidas, para evitar proliferação de colônias; sílicas, que garantem a homogeneidade do revestimento, para evitar fissuras na superfície do filme e outros tipos de deformação; e o glicol, responsável pela secagem da tinta, que pode gerar problemas quando a tinta seca rápido demais após a aplicação, o que gera deformações como bolhas na superfície do filme (PILZ, 2004; POLITO, 2006).

Aditivos podem ser divididos em algumas categorias de acordo com sua função:

Aditivos de cinética:

- Secantes
- Catalisadores
- Antipeles

Aditivos de Reologia

- Espessantes
- Niveladores
- Antiescorrimento

Aditivos de processo

- Surfactantes

Aditivos de preservação

- Biocidas
- Estabilizantes de ultravioleta

De acordo com Silva (2013), cargas são materiais sólidos em pó que são adicionados nas tintas. Essas substâncias completam a composição e são vantajosos porque geralmente apresentam custos baixos reduzidos ao aumentarem o volume da tinta. Além

disso, conferem controle do brilho, da reologia da tinta, da dureza, resistência à riscagem, permeabilidade e aderência.

As cargas mais frequentemente utilizadas e suas respectivas funções são:

- Argila: calcinada proporciona maior poder de cobertura que a maioria das cargas em tintas porosas, enquanto delaminada aumenta a resistência a manchas;
- Sílica e silicatos: proporcionam excelente resistência à abrasão;
- Sílica diatomácea: controla o brilho;
- Carbonato de cálcio: pigmento de uso geral, de baixo custo e reduzido poder de cobertura;
- Talco (silicato de magnésio): é uma carga de uso geral e relativamente macia;
- Óxido de zinco: pigmento útil pela sua resistência a bolores, inibidor de corrosão e bloqueador de manchas.

2.3.5 Classificação

Segundo Silva (2013), as tintas geralmente são classificadas, comercialmente, como:

- Látex: Acetato de polivinila (PVA), acrílicos puros ou acrílicos associados;
- Alquídeos: Óleos ou esmaltes;
- Vernizes: Poliuretanos, copal;
- Epóxi: Tintas epóxi;
- Especiais: Borracha clorada ou lacas;
- Primários: Antioxidantes, nivelantes, fixadores de absorção ou corretores químicos e físicos.

Pode-se dizer que as tintas obtidas a partir de resinas termoplásticas são designadas genericamente por lacas, sendo que as mais comuns são: os hidrocarbonetos, as nitrocelulósicas, as vinílicas e as acrílicas. No caso das tintas obtidas a partir de resinas termorígidas, as de maior aplicabilidade são: as epóxis (poliamida/poliamina), as de

poliuretano (aromático/alifático) e as alquídicas (secagem ao ar e estufa). Tintas aquosas para acabamento de paredes e tintas à base de solvente para acabamento de ferro são vulgarmente chamadas de tintas plásticas e esmaltes. De acordo com a Associação Portuguesa de Tintas (ATP) (2013), as tintas são geralmente classificadas de acordo com o seu principal ligante (resina), como exibido no Quadro 3.

Na empresa, as tintas utilizadas na pintura de rodas agrícola são acrílicas. De acordo com Picolotti (2019), tintas acrílicas têm como vantagem proporcionar acabamento em ótima qualidade. Também apresentam qualidades como boa lavabilidade e secagem. Como constituintes da tinta acrílica tem-se a resina, que é a parte não-volátil da tinta e tem como propriedade a aglutinação, sendo responsável pela construção de um filme seco uniforme.

Quadro 3: Classificação da tinta de acordo com a natureza do veículo fixo.

Ligante Natural	Óleos secativos naturais ou resinas produzidas por árvores resinosas. Muito usado no passado e com aplicação na restauração de móveis e nas cores de belas artes
Derivados celulósicos	Obtidos por modificação da celulose. Produtos já pouco utilizados, com exceção da nitrocelulose.
Derivados da Borracha	Obtidos por modificação da borracha natural. Produtos que apresentam excelente resistência à água, utilizados em ambientes corrosivos ou marítimos.
Vinílicos e Acrílicos	A seleção dos monômeros permite a adaptação a diversas aplicações (os derivados acrílicos têm uma maior estabilidade do que os derivados vinílicos).
Alquídicos (Gliceroftálicos)	Obtidos a partir de óleos naturais mais ou menos modificados por outras substâncias. Ligantes que endurecem (curam) à temperatura ambiente, pela ação do oxigênio ou por reação com outras resinas com o auxílio de calor.
Poliésteres	Obtidos por reação entre os poliácidos e os poliálcoois. Ligantes que endurecem (curam) por policondensação interna ou com aminas reativas.
Fenólicos	Produtos da reação de fenóis com aldeídos. Raramente usados como ligante isolado devido ao fato serem duros e quebradiços. Utilizam-se quando quimicamente modificados ou em combinação com outras resinas compatíveis.
Epoxídicos	Os grupos epóxi destas resinas reagem por mecanismo de adição com diversos grupos químicos. Ligantes que endurecem à temperatura ambiente ou em estufa, dependendo da natureza do outro componente reacional.
Amínicos	Produtos da reação de aldeídos com derivados aminados (ureia, melamina).
Poliuretanos	Obtidos por adição entre compostos contendo grupos isocianato e um outro com funções reativas. A reação faz-se à temperatura ambiente e é necessário preparar a mistura dos dois componentes imediatamente antes da sua utilização.

Fonte: adaptado de Associação Portuguesa de Tintas (2013).

Estudos mostram que a elongação em filmes a base de resinas acrílicas puras é menor do que nos filmes com resinas que contém estireno. Além disso, filmes não pigmentados com resinas acrílicas estirenadas apresentaram maior amarelamento após exposição à luz UV. Entretanto, em filmes pigmentados, esta diferença não foi tão perceptível, em função do efeito equalizador dos pigmentos e cargas presentes (PILZ, 2004).

2.3.6 Tintas base óleo

As tintas podem ser à base de óleo (solvente) ou à base de água. A porção líquida de uma tinta à base de óleo contém solventes como o mineral “spirit.”. Nas tintas à base de látex, a porção líquida contém água. O Quadro 4 apresenta um comparativo de vantagens e de performances entre cada categoria. (POLITO, 2006).

As tintas utilizadas no Top Coat da empresa analisada são à base de solvente, óleo. De acordo com Polito (2006), tintas à base de óleo proporcionam boa cobertura (característica da tinta de cobrir ou mudar a superfície original) e adesão ao substrato aplicado. Por outro lado, em aplicações externas, algumas destas tintas tendem a oxidar, fazendo com que a película, com o passar do tempo torne-se quebradiça, ocasionando trincas e fissuras. Em aplicações internas, pode ocorrer o amarelamento e, às vezes, pequenos deslocamentos da película. Estas tintas são mais difíceis de aplicação do que as formuladas com látex e demandam de mais tempo para secagem completa da película. Além disso, não devem ser aplicadas sobre superfícies com características alcalinas e, mais especificamente, sobre aquelas que não se apresentem totalmente curadas. Também não devem ser aplicadas diretamente sobre superfícies metálicas galvanizadas. Em ambos os casos há esta contraindicação devido ao fato de que, desta forma, haverá a saponificação do filme.

Por esse motivo, na empresa em questão, faz-se a aplicação de uma camada de tinta, chamada E-coat, que está localizada embaixo da camada de Top Coat e apresenta a função de proteger contra a corrosão.

Quadro 4: Comparação entre tintas à base de óleo e tintas à base de água.

	TABELA COMPARATIVA ENTRE CADA CATEGORIA DE TINTA	
	BASE ÓLEO	BASE ÁGUA
Vantagens	Proporciona melhor cobertura na primeira demão; Adere melhor a superfícies que não estão muito limpas; Maior tempo de abertura; Depois de seca, apresenta maior aderência e resistência à abrasão.	Melhor flexibilidade a longo prazo; Maior resistência a rachaduras e lascas; Maior resistência ao amarelamento; Exala menos cheiro; Pode ser limpa com água; Não inflamável.
Durabilidade	Adesão excelente. Oferecem melhor adesão do que as de látex quando pintadas sobre superfícies padronizadas.	Adesão excelente em todo tipo de superfície. Oferece melhor elasticidade do que as tintas à base de óleo.
Retenção de cor	Inferior às de látex. A película pode se degradar em contato com o sol.	Grande resistência contra a deterioração da película, quando exposta à luz solar.
Facilidade de aplicação*	São mais difíceis de aplicar. No entanto, com apenas uma demão, oferecem maior cobertura.	São mais fáceis de aplicar.
Resistência ao mofo	Sendo formadas à base de óleos vegetais, fornecem nutrientes para o crescimento ou desenvolvimento do mofo.	Oferecem poucas condições ao crescimento de colônias de mofo. O uso de fungicidas inibe o crescimento do mofo.
Versatilidade	Aplicadas na maioria das superfícies, menos em superfícies cujo aglomerante seja o cimento portland, como concreto, emboços e rebocos tradicionais. Deverá ser aplicado um protetor penetrante para isolar a superfície. Não podem ser aplicadas diretamente sobre superfícies galvanizadas.	Podem ser aplicadas praticamente sobre todo tipo de superfície. Sugere-se usar primer antes.
Limpeza	Só é possível com solventes derivados de petróleo, como xilol, toluol e etc.	Lavam-se apenas com água

*Facilidade de aplicação refere-se ao instrumento utilizado. Mais fácil refere-se a pincéis convencionais.

Fonte: adaptado de (Polito, 2006).

2.3.7 PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS

Independente de qual será a finalidade da tinta, ela deverá atender alguns critérios fundamentais que são a opacidade, ou poder obliterante, e a durabilidade, sendo que a sua consistência e aplicabilidade também são importantes (SILVA, 2013).

No caso da pintura de rodas, cada critério não atendido, ou cada conjunto de critérios não atendidos, gera uma falha de pintura, falhas estas que serão explicadas nos próximos tópicos.

Segundo APT (2013), a avaliação das propriedades de desempenho ligadas à função e à durabilidade do revestimento dependem:

- Tempo de secagem: a tinta deverá secar o mais rápido possível, de modo que impurezas não se depositem, o que pode causar alterações químicas na tinta (SILVA, 2013);
- Aderência: deve ser capaz de aderir a qualquer superfície, tanto substrato como entre camadas (SILVA, 2013);
- Estabilidade: capacidade de preservar as características de originais, sem que ocorra a segregação de seus componentes, coagulação ou surgimento de odores, enquanto estiver lacrada e dentro do prazo de validade (ABRAFATI, 2012);
- Aspeto visual: textura, cor, brilho inicial e brilho após envelhecimento (SILVA, 2013);
- Cobertura: capacidade de cobrir a cor original e as imperfeições da superfície a ser pintada. Diretamente relacionada à diluição do solvente (ABRAFATI, 2012);
- Durabilidade: deve manter a sua cor original e as suas características de proteção o máximo de tempo (SILVA, 2013);
- Resistência mecânica: dureza, resistência à riscagem, resistência ao choque, à quadrícula e à abrasão (SILVA, 2013);
- Resistência ao intemperismo: deve ser capaz de suportar agressões do meio como corrosão, ataques químicos e biológicos (SILVA, 2013);
- Resistência ao calor e à umidade: eficaz barreira contra a penetração da água (SILVA, 2013);
- Resistências a agressões específicas em função do uso: no caso de uma tinta especial, por exemplo uma tinta intumescente, esta deve retardar a chama e proteger a estrutura (SILVA, 2013).

2.4 Falhas de pintura

Quando o processo não está corretamente controlado, parâmetros fora do valor especificado podem causar sérios problemas ao processo. Em fábricas com processos contínuos, como a apresentada nessa monografia, apenas um parâmetro desregulado pode causar grande prejuízo em questão de horas, especialmente quando o processo envolve tintas, as quais são onerosas. Assim, nesse tópico serão listadas as falhas (ou defeitos) de pintura que são encontrados na pintura de rodas em aço do Top Coat agrícola da empresa automotiva analisada.

No caso de tintas que são aplicadas na forma de jatos, como é realizada na empresa, as tintas devem satisfazer alguns parâmetros que estão relacionados com a viscosidade, densidade e sedimentação. Além disso, existem algumas outras necessidades específicas que devem ser cumpridas para pinturas a jato como tensão superficial, tamanho e forma de gota, cinética de penetração no substrato e propriedades elétricas (DONDI et al., 2012).

De acordo com Dondi et al. (2012), cada uma destas variáveis anteriormente citadas está relacionada a fenômenos que ocorrem ou podem ocorrer durante a pintura, as quais também apresentam relação com as características físicas e químicas das tintas, como apresentado no Quadro 5. Além disso, é importante destacar que estas propriedades podem ser alteradas pelo uso de aditivos, como o solvente, ou pela modificação das condições de impressão (como a temperatura da tinta).

No entanto, a viscosidade e a tensão superficial devem ser estrategicamente monitoradas, uma vez que determinam fortemente a dinâmica dos jatos de tinta. Assim, pode-se afirmar que tintas muito viscosas reduzem o fluxo nos bicos das pistolas e a ejeção das gotas, além do preenchimento das câmaras de impressão, o que irá gerar o defeito de baixa cobertura. Entretanto, ao utilizar uma tensão superficial demasiadamente alta, a formação da gota será dificultada e poderá causar a geração de gotas-satélite, neste trabalho denominada tinta escorrida. Por outro lado, tintas com tensão superficial muito baixa podem resultar no fenômeno de molhamento nas superfícies ao redor dos bicos e em efeitos de gotejamento por gravidade a partir dos orifícios e não asseguram estabilidade suficiente das gotas durante seu trajeto até o substrato (DONDI et al., 2012).

Quadro 5: Fenômenos que ocorrem ou podem ocorrer durante impressão por jato de tinta e sua relação com propriedades físicas e químicas da tinta.

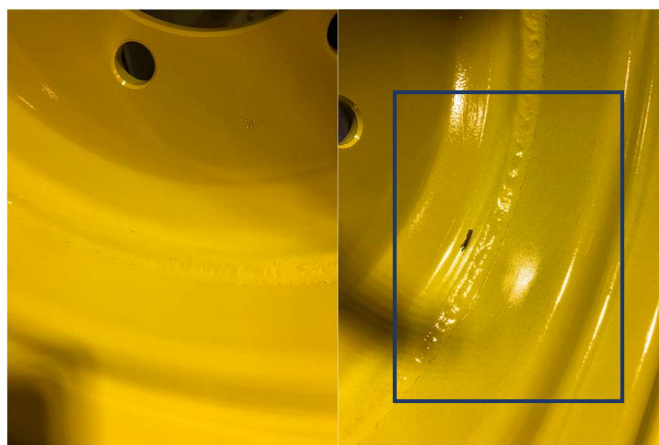
Fenômeno	Propriedade da tinta	Requisito da tinta
Entupimento do bico	Tamanho da partícula do pigmento	Diâmetro $<1\mu\text{m}$
Sedimentação do pigmento	Potencial zeta (estabilização eletrostática)	$\pm 30\text{ mV}$
Gotejamento da tinta	Tensão superficial	$20\text{-}45\text{ mN.m}^{-1}$
Tamanho e forma da gota de tinta	Viscosidade	$4\text{-}40\text{ mPa.s}$
Direcionamento da tinta	Densidade	$1,1 - 1,5\text{ g.cm}^{-3}$
Corrosão dos bicos	pH	$5 < \text{pH} < 10$
Dissolução do pigmento	Insolubilidade em meio orgânico	Muito baixa

Fonte: adaptado de Dondi et al. (2012).

2.5.1 Baixa cobertura

A falha de pintura denominada baixa cobertura é caracterizada quando a tinta de acabamento, no caso o esmalte acrílico, não recobre perfeitamente a camada inferior, ou seja, não espalha da forma como deveria para cobrir a superfície. No caso das rodas agrícolas, a camada inferior é E-coat da cor preta, então a baixa cobertura é uma falha no visual que é bem aparente, como exibido na Figura 5. Ademais, uma camada imperfeita pode não proteger efetivamente dos raios UV, além de afetar o aspecto visual do produto. Esse defeito pode ocorrer por uma aplicação errada da tinta, por problemas no leque da pistola, o qual pode não ter distribuído a tinta perfeitamente, ou por problemas com as condições da tinta que não estão ideais.

Figura 5: Lado esquerdo apresenta roda com cobertura correta e lado direito apresenta baixa cobertura.



Fonte: o Autor.

2.5.2 Tinta escorrida

A tinta escorrida também é um problema recorrente no dia a dia da empresa. Geralmente, este defeito está associado a variações na viscosidade da tinta, o que pode ocorrer em dias que apresentam grande amplitude térmica. Este defeito impacta diretamente no aspecto visual do produto como mostra a Figura 6, o que não é desejado nem aceito pelo cliente. Além disso, essa falha pode ocorrer devido a fatores como aplicação além do necessário em alguma região, problemas na preparação da tinta como citado anteriormente, teor de sólidos da tinta fora dos valores especificados e viscosidade.

Figura 6: Rodas com tinta escorrida.



Fonte: o Autor.

2.5 Viscosidade

Um fluido é uma substância que se deforma continuamente quando sujeito à ação de uma força. Assim, a viscosidade é a resposta do fluido ao atrito viscoso de suas camadas internas que impoem resistência ao escoamento. Todo fluído real (líquidos, gases, sólidos fluidizados) apresenta uma resistência à deformação ou ao escoamento quando submetidos a uma determinada tensão (SOLIS, 2014).

De acordo com Solis (2014), a Lei de Newton da viscosidade enuncia que a relação entre a tensão de cisalhamento (força de cisalhamento pela área) e o gradiente local de velocidade é definida através de uma relação linear, sendo a constante de proporcionalidade, a viscosidade do fluido.

Em relação à deformação, os fluidos são classificados em:

- Reversíveis ou elásticos: são sistemas que não escoam; sua deformação é reversível e o sistema obedece à Lei de Hooke.

- Irreversíveis ou viscosos: são sistemas que escoam; sua deformação é irreversível e o sistema obedece à Lei de Newton, de viscosidade constante.

Também podem ser classificados quanto à relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento:

- Fluidos Newtonianos: sua viscosidade é constante, seguem a Lei de Newton. Esta classe abrange todos os gases e líquidos não poliméricos e homogêneos.

- Fluidos Não Newtonianos: a relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento não é constante.

Além disso, os fluidos não newtonianos ainda podem ser classificados em:

- Viscoelásticos, dependentes e independentes do tempo.

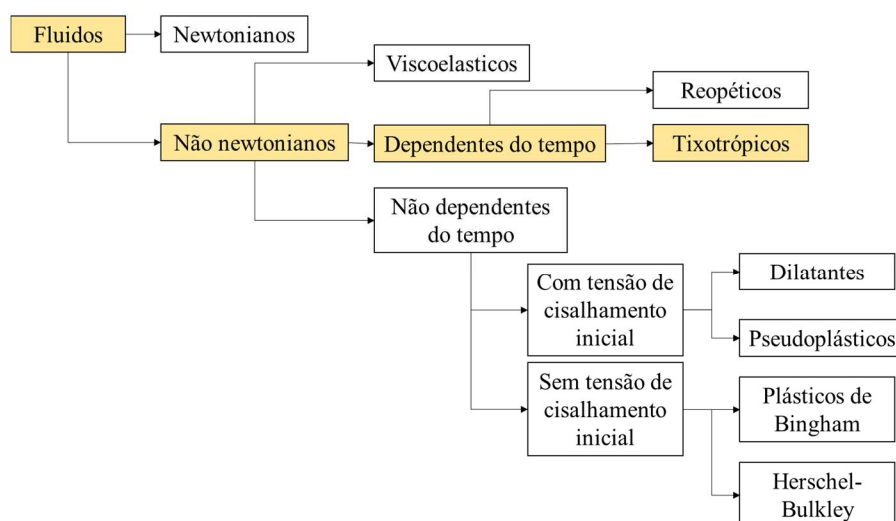
Segundo Costa (2017), os fluidos dependentes do tempo, como é o caso das tintas, são fluidos que possuem propriedades variantes no tempo quando submetidos a uma mesma tensão de cisalhamento. Podem ser divididos em:

- Reopéticos: apresentam aumento da viscosidade com o tempo quando submetidos à deformação constante.

- Tixotrópicos: apresentam queda da viscosidade com o tempo quando submetido a uma dada deformação constante. Seu valor retorna parcialmente ao inicial quando a deformação é interrompida (COSTA, 2017).

As tintas, em geral, são fluidos não newtonianos e dependentes do tempo. Desse modo, acima de um certo limite, denominado de tensão limite de escoamento, ocorre um colapso significativo da microestrutura do fluido, causando reduções dramáticas da viscosidade e elasticidade (SOLIS, 2014). Esse fenômeno é problemático em tintas amarelas especificamente devido ao pigmento utilizado, que a torna mais tixotrópica em comparação às demais cores. A Figura 7 apresenta um esquema da classificação dos fluidos e destaca a classificação das tintas líquidas.

Figura 7: Classificação dos fluidos.

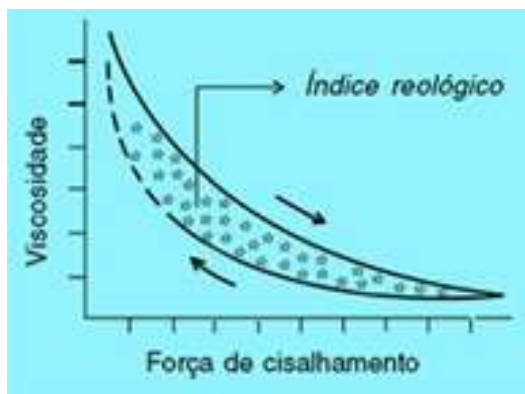


Fonte: adaptado de Solis (2014).

É possível afirmar que as grandezas temperatura e viscosidade estão relacionadas, além disso, sabe-se que a variação de viscosidade interfere nas propriedades de um líquido. Sendo assim, conforme a temperatura da tinta oscila, visto que está sujeita à temperatura ambiente, as condições do processo desviam da idealidade.

Sabe-se que o pigmento amarelo em tintas é mais tixotrópico do que a grande maioria dos pigmentos utilizados em tintas. De acordo com Costa (2006), tixotropia é a capacidade que um gel possui de passar para o estado sol, ou seja, liquefazer-se, à medida que uma força mecânica ou calor é aplicado sobre ele. Assim, uma vez cessado o fornecimento de calor ou da força aplicada, esse mesmo gel, então liquefeito, retorna à sua condição inicial. A Figura 8 ilustra que, à medida que uma força de cisalhamento é aplicada, a viscosidade diminui. No entanto, em um fluido não-newtoniano, contendo uma determinada tixotropia, levará algum tempo para recobrar seu próprio corpo, ou voltar ao estado original, quando em repouso. Esse intervalo de tempo é conhecido como fator reológico.

Figura 8: Gráfico viscosidade e força de cisalhamento.



Fonte: (COSTA, 2006).

Ainda de acordo com o autor Costa (2006), um fluido newtoniano pode apresentar alta viscosidade sem que seja tixotrópico. Entretanto, se o fluido for não-newtoniano, este apresentará uma viscosidade aparente ou pseudoplástica e terá sua estrutura automaticamente modificada conforme uma força de cisalhamento for aplicada. Assim, o gel será liquefeito quase completamente. Ademais, ao interromper-se a força mecânica, essa espécie de líquido retornará ao estado de gel, após um determinado tempo, que irá variar de acordo com a substância.

Em processos reais, é comum que os fluidos sejam não-newtonianos, de modo que apresentam desvios da idealidade prevista. Além disso, é importante ressaltar que as tintas estão sob influência da tensão de cisalhamento impreterivelmente, uma vez que passam por filtros, são catalisadas nos misturadores e sofrem perda de carga na tubulação entre a sala de tinta e a cabine de pintura, o que será melhor explicado nos próximos tópicos. Sobre a influência do calor, como a tubulação em questão é isolada termicamente, a tinta está sujeita à variação de temperatura ambiente.

3.MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Método de pesquisa

A metodologia científica que foi utilizada nessa monografia foi a experimental. O estudo foi realizado colhendo dados de processo reais de dentro da empresa do ramo automotivo analisada e os experimentos para construção do diagrama foram conduzidos dentro da sala de tintas da empresa.

De acordo com Cooper e Schindler (2014), experimentos são estudos em que o pesquisador faz uma intervenção em uma ou mais variáveis para realizar a medição em outra. Por isso, experimentos são utilizados como forma de testar o comportamento de agentes, já que permite o controle e manipulação de variáveis, além de permitir a repetição do experimento com diferentes aspectos. Geralmente, a intervenção é realizada manipulando alguma variável em uma configuração determinada e observando como ela afeta os demais parâmetros do estudo. Dessa forma, o pesquisador manipula o independente ou variável explicativa e, em seguida, observa se a variável dependente, ou hipotética, é afetada pela intervenção.

No caso dessa monografia, as variáveis que foram manipuladas foram a temperatura da tinta e a proporção solvente tinta e a variável dependente foi a viscosidade. O objetivo foi observar e compreender como a quantidade de solvente influenciava a variação de viscosidade, de acordo com uma faixa de temperatura, a fim de obter uma correlação que possibilitasse controlar a viscosidade, utilizando solvente, conforme a temperatura de cada dia ao longo de um ano.

O método experimental é considerado a forma mais convincente de demonstrar como variáveis estão relacionadas. Desse modo, a principal vantagem desse método é a capacidade que o pesquisador possui de manipular a variável independente. Por causa disso, é possível determinar que as mudanças na variável dependente sejam uma função da manipulação imputada (COOPER; SCHINDLER, 2014).

De acordo com os autores Cooper e Schindler (2014), para um experimento ser considerado bem executado, o pesquisador deve cumprir rigorosamente uma série de etapas que são listadas a seguir e estarão destacadas nos tópicos seguintes da metodologia:

1. Selecionar as variáveis relevantes
2. Especificar níveis de tratamento
3. Controlar o ambiente experimental
4. Escolher o projeto experimental
5. Selecionar e atribuir fatores
6. Teste piloto, revisão e teste
7. Analisar os dados

3.1.1 Isolar a viscosidade como responsável pelos defeitos

O primeiro passo, de acordo com a metodologia, foi selecionar as variáveis relevantes. Em uma pesquisa, o assunto central que será investigado pode ser conceituado como uma hierarquia de questões, partindo de um problema de gerenciamento. Dessa forma, cabe ao pesquisador traduzir um problema abstrato e amorfo a uma hipótese que pode ser testada e mensurada.

Antes que se soubesse com certeza qual parâmetro do processo era responsável pelo aumento da quantidade de defeitos encontrados, especificamente nas rodas pintadas com a tinta analisada, vários aspectos envolvendo a pintura de rodas foram verificados. A Figura 9 ilustra o esquema da tubulação de tinta da fábrica, contendo, as partes que interessam a esse projeto.

Figura 9 – Esquema simplificado da área de pintura agrícola.



Fonte: O autor.

Os trabalhadores da cabine de pintura foram descartados como sendo responsáveis pelas falhas logo no início dessa análise, uma vez que os mesmos pintores pintam todas as rodas, as quais possuem diferentes cores, e a incidência de defeitos nas demais cores é disparadamente menor do que na amarela.

As pistolas que são utilizadas na pintura também foram descartadas. No início de cada turno, cada pintor preenche um “check list” em que são avaliadas as condições de cada pistola. A pistola é do tipo eletroestática, então são avaliados fatores como aterramento, leque, bico, entre outros. As anotações foram vistoriadas desde janeiro até

outubro de 2020 e foi constatado que todos os “check lists” estavam preenchidos corretamente. Além disso, em dias que houve qualquer tipo de problema envolvendo as pistolas, esse foi corrigido antes de iniciar a pintura no turno.

As três tubulações exibidas na figura 9 são isoladas termicamente e foi constatado que não havia nenhum tipo de danificação no isolamento, de modo que a variação de temperatura entre a sala de tinta e a cabine de pintura foi descartada.

Na sala de tinta, local onde são preparadas as tintas e onde ficam os tanques, as rifas de pintura foram analisadas. Como o local é à prova de explosão, nenhum tipo de aparato eletrônico é permitido dentro da sala, por isso todas as rifas são preenchidas em papel e essa folha é digitalizada e posteriormente armazenada em um local específico ao fim de cada mês. Os equipamentos como bombas, tubulações, condições físicas da sala, foram analisados e estavam funcionando de forma correta. Na análise das rifas, foi verificado que as pressões das bombas, tanto as de ar quanto as de tinta, não apresentam oscilação ao longo do ano.

Dessa forma, o único parâmetro encontrado que apresentou variação, conforme a oscilação de defeitos, foi a viscosidade da tinta. Conforme especificação do fornecedor, a tinta deve ser preparada com uma porcentagem entre 0-15% de solvente em relação ao esmalte acrílico. No entanto, já que se sabe que a quantidade de solvente altera a viscosidade da tinta, o alvo deste estudo foi prover uma forma de atingir uma viscosidade específica na montagem do tanque de tinta, uma vez que esse intervalo de 15% da quantidade de solvente é responsável por trazer variação de viscosidade considerável para a tinta, a qual também irá oscilar com a temperatura do dia (POLITO, 2006).

3.1.2 Análise da capacidade e estabilidade do processo

A especificação dos níveis de tratamento refere-se às faixas em que as variáveis foram testadas na parte experimental. Os níveis atribuídos a uma variável independente devem ser baseados na simplicidade e no senso comum, desde que estejam dentro das condições do processo. Desse modo, foram avaliadas a estabilidade e a capacidade do processo, para que fossem observados os limites máximos e mínimos que são atingidos atualmente.

Para isso, foi necessário coletar as rifas da sala de pintura da empresa, as quais contém os dados, diários e por turno, de viscosidade, resistividade, lote, pressão das

bombas de cada tinta utilizada na pintura de rodas. Como mencionado anteriormente, a sala de tinta não permite o uso de computadores, nem aparatos eletrônicos, por esse motivo, os dados desejados foram transferidos para uma planilha eletrônica manualmente. No caso desse trabalho, o diagrama foi desenvolvido utilizando os dados de uma tinta específica utilizada na pintura de rodas agrícolas.

Uma vez que as rifas foram planilhadas, foram localizados os valores de viscosidade da tinta escolhida em cada dia e, como a fábrica trabalha com três turnos de oito horas cada, o valor de cada dia foi uma média aritmética desses três valores.

Com esses dados, inicialmente foram analisadas a capacidade do processo e a estabilidade, através do uso de “softwares” como Minitab e Excel, também verificando a possibilidade de causas especiais, no caso de instabilidades muito discrepantes.

3.1.3 Fatores externos

Em qualquer situação real, fatores externos podem influenciar no objeto de estudo. Esses fatores têm o potencial de distorcer os efeitos aplicados na variável dependente e devem ser controlados ou eliminados. Portanto, anteriormente ao controle das variáveis externas, foi necessário identificá-las. Isso foi feito através da análise das rifas mencionadas no tópico anterior. São fatores externos pressão de bombas de tinta e de ar, assim como variabilidade entre os operadores dos três turnos, os quais foram avaliados e descartados, uma vez que eram constantes. Além disso, os experimentos foram gravados em forma de vídeo, uma vez que este é um método eficaz e simples que ajuda a dar consistência ao experimento, visto que são capazes de exibir e possibilitar a identificação dos fatores externos, como a disposição da sala, o tempo de administração, o contato do experimentador com os sujeitos de análise, entre outros, que devem ser consistentes em cada administração do experimento.

3.1.4 Definir o método experimental

O projeto de experimento pode ser definido como o plano e a estrutura da investigação que tem como objetivo obter as respostas para as questões alvo da experimentação. O plano é o programa geral da pesquisa, o qual inclui um esboço geral do que o pesquisador irá fazer ao escrever as hipóteses e implicações para a análise final dos dados. O desing do método foi escolhido de tal forma que fosse o mais adequado aos objetivos da pesquisa, ou seja, de forma que proporcionasse a obtenção mais clara das

relações desejadas entre as variáveis. Uma seleção criteriosa do projeto aumenta a probabilidade de que a mudança observada na variável dependente tenha sido causada pela manipulação da variável independente e não por outro fator. O que favorece consequentemente, a validação e generalização dos resultados obtidos além do ambiente experimental.

Desse modo, sabendo que a viscosidade é função da temperatura e da proporção tinta solvente, excluindo fatores externos e considerando uma mesma tinta, o projeto foi manipular as variáveis independentes, proporção e temperatura, em alguns níveis até que se obtivesse pontos suficientes para construir um gráfico. Este gráfico tem no eixo y os valores da viscosidade em segundos, em x, os valores de temperatura em graus Celsius e curvas que relacionam pontos coletados numa mesma proporção de tinta solvente.

3.1.5 Definir viscosidade alvo

O quinto passo da metodologia consiste na seleção e atribuição dos parâmetros. Os participantes selecionados devem ser representativos da população para a qual o pesquisador deseja generalizar os resultados do estudo.

Foram coletados os dados diários de defeitos de pintura encontrados nas rodas que são pintadas com a tinta escolhida como alvo. Foram selecionados os dados das principais falhas de pintura que são tinta escorrida e baixa cobertura. Defeitos encontrados na inspeção, mas que não estão relacionados à pintura Top Coat não foram coletados, como rodas que foram arranhadas dentro da estufa, borras provenientes da etapa de E-coat, microtrincas, entre outros que não interessam à análise proposta.

O próximo passo foi montar uma planilha com as seguintes colunas: dia, turno, local da roda, condição (1ª pintura ou repintura), dimensão da roda, defeito, quantidade, hora que o defeito foi registrado e a viscosidade no turno em que o defeito foi encontrado. Paralelamente a essa primeira planilha, foram geradas mais três planilhas, uma para cada tipo de defeito, contendo duas colunas em cada uma delas: quantidade de determinado defeito e a viscosidade na hora que esse defeito foi coletado. Em seguida, foi feito, para cada planilha, um gráfico de dispersão em que x é viscosidade e y é a quantidade de defeitos. O objetivo desse passo foi identificar, primeiramente de forma isolada, qual viscosidade minimiza cada defeito de pintura. Esse procedimento foi realizado com os dados coletados entre janeiro e agosto de 2020.

Posteriormente, foi observado qual viscosidade favorecia o menor número de defeitos, primeiramente em cada tipo de defeito. Depois, foi analisado se o valor encontrado é o mesmo para todos os tipos de falhas, caso não fosse, seria feita uma análise, com o auxílio de softwares como o Minitab, para determinar qual o alvo de viscosidade desse trabalho, ou seja, o valor de viscosidade que contribuía para a minimização de todos os defeitos e que deveria ser atingido, sem desviar das condições do processo estabelecidos pela empresa e fornecedor.

3.1.6 Teste piloto, revisão e teste

Antes que o experimento de fato fosse realizado, foi útil e conveniente a realização de um teste piloto. Este teste teve como objetivo revelar erros no projeto original que poderiam não proporcionar a resposta desejada no experimento. O pré-teste dos instrumentos permitiram o refinamento antes do teste final. Esta foi a melhor oportunidade de serem revisados scripts, procurados problemas de controle com as condições de laboratório e examinar o ambiente em busca de fatores que poderiam confundir os resultados.

Dessa forma, o experimento foi realizado dentro do laboratório da empresa utilizando os mesmos instrumentos que são utilizados no seu cotidiano, pois dessa maneira eliminou-se o erro ou variação atribuída aos equipamentos de medida, como cronômetros, termômetros, entre outros.

O procedimento foi realizado medindo a viscosidade da tinta em algumas condições, com 4 proporções de solvente diferentes 0%, 2,5%, 5,0% e 7,5% e com cada proporção dessas foi manipulada a temperatura da tinta de 18°C até 30°C variando de um em um grau.

A proporção de tinta solvente foi realizada de forma convencional com béqueres. Foram preparados 4 béqueres com as proporções especificadas anteriormente, devidamente etiquetados, e para a realização do experimento a manipulação da temperatura foi realizada com o uso de água quente ou água fria, como um banho termostático, até que fosse atingida a temperatura desejada para o experimento, e tal temperatura foi aferida com um termômetro digital.

Na empresa, a medição da viscosidade é realizada cronometrando-se o tempo em segundos que o líquido demora para escorrer de um copo ford número 4, conforme exibido na Figura 10.

Figura 10: Viscosímetro copo Ford número 4.



Fonte: o autor.

Para a realizar a medição, tampa-se o orifício na parte inferior do copo e adiciona-se a tinta na parte superior até o menisco. A seguir, com a ajuda de um cronômetro, libera-se a passagem de fluido, para que a tinta comece a escoar, disparando-se o cronômetro simultaneamente. Quando a tinta não estiver mais escoando de maneira contínua (início do gotejamento), a contagem de tempo é então interrompida. O procedimento foi realizado em triplicata com cada grau temperatura.

3.1.7 Análise dos resultados obtidos

Com os dados de viscosidade coletados em todas as condições exigidas, os dados foram adicionados ao Minitab, no qual geraram gráficos de dispersão, em que o eixo x foi composto por valores de temperatura em graus Celsius e o eixo y, por valores de viscosidade.

Feito isso, foram traçada linhas que ligam pontos que foram coletados com a mesma proporção tinta solvente. O objetivo foi que, uma vez que se soubesse a viscosidade que se deseja atingir, aferindo a temperatura da tinta em um determinado dia e horário, o

gráfico tornasse possível informar a proporção exata de tinta e solvente que deve ser utilizada para preparar o tanque de tinta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise com princípio de pareto

A primeira parte dos resultados consistiu na análise dos dados de retrabalho de pintura nas rodas agrícolas da cor analisada. Esses dados foram associados à observação da viscosidade da tinta no momento em que os defeitos foram detectados. A frequência de aferição da viscosidade na empresa é realizada a cada oito horas, uma vez por turno e, portanto, a cada defeito foi associado à viscosidade da tinta em um determinado turno.

As rodas são pintadas na cabine de pintura agrícola, passam pela estufa, para passarem pelo processo de cura, e em seguida pelo resfriador, para então serem inspecionadas. Na inspeção, há um operador que procura por defeitos de pintura e computa os defeitos encontrados em uma planilha, a qual foi utilizada como base nesse estudo. A seguir, as rodas são retocadas no local em que a gancheira impossibilita a pintura e seguem para a descarga.

Na Figura 11 pode-se observar uma das planilhas utilizadas no estudo, referente ao mês de julho. A planilha é construída de modo que cada linha representa uma roda, ou um conjunto de rodas iguais, o tipo de defeito encontrado e a quantidade de rodas. Por esse motivo, é possível que haja várias linhas com o mesmo dia anotado, uma vez que podem ter sido localizados defeitos no mesmo dia em rodas de tamanhos diferentes ou o mesmo tipo de roda que apresente defeitos diferentes. Em dias que não foi localizado nenhum defeito, a linha foi preenchida com a data e na coluna de defeito foi escrito “sem defeito”, a viscosidade anotada refere-se à média da viscosidade do dia, apenas para mapeamento do processo.

Após a elaboração das planilhas, associando dados de retrabalho de rodas e a viscosidade entre os meses de março e agosto de 2020, foi possível realizar análises para determinar qual, ou quais valores de viscosidade estavam associados a maiores quantidades de defeitos. A estatística que apresentou os dados de forma mais satisfatória foi o Princípio de Pareto que afirma que, para muitos eventos, aproximadamente 80% dos efeitos vêm de 20% das causas (RODRIGUES, 2020). Desse modo, foi construído um gráfico de Pareto para cada tipo de defeito x viscosidade analisado, e, a seguir, um terceiro gráfico exibiu a somatória dos dados.

Figura 11: Planilha de defeitos x viscosidade utilizada no estudo referente ao mês de julho/2020.

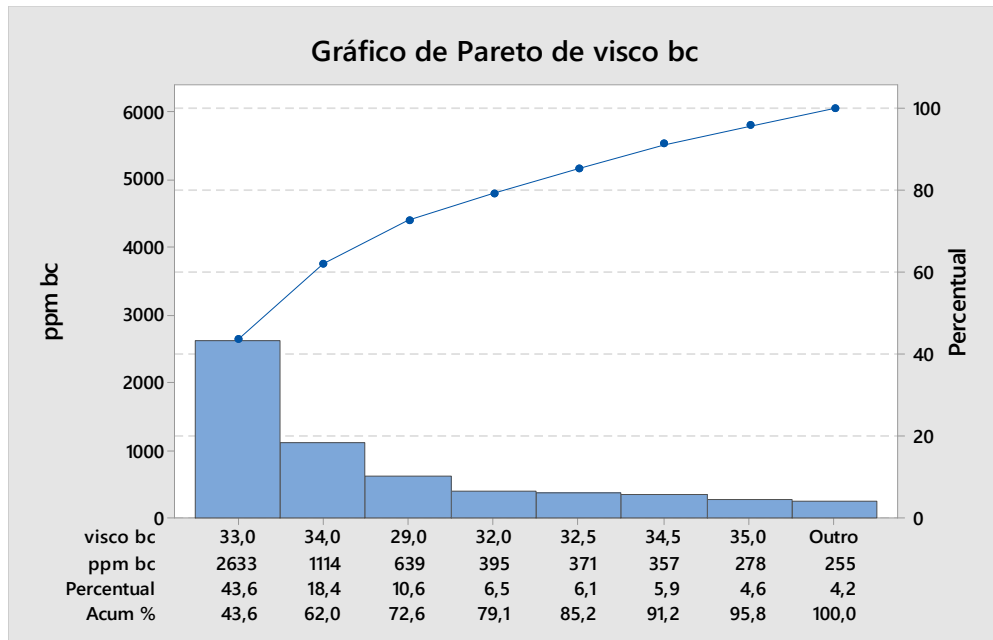
DIA	DIMENSÃO	DEFEITO	QTE	HORA	VISCOSIDADE (s)
1		SEM DEFEITO			31,5
2		SEM DEFEITO			34,5
3	18X38	ÁSPERA	1	10:23	34,5
6	NÃO CADASTRADO	TINTA ESCORRIDA	1	19:00	32
7	28x18	BAIXA COBERTURA	2	07:28	32
7	20x30	BAIXA COBERTURA	13	16:00	33
8	ROTR 28XW18L	ÁSPERA	1	09:22	31
9	NÃO CADASTRADO	ÁSPERA	1	05:46	28
9	16X38	ÁSPERA	5	16:35	32
10	27x32	ÁSPERA	1	10:15	30
10	42X23	ÁSPERA	1	10:17	30
10	NÃO CADASTRADO	BAIXA COBERTURA	2	15:50	31
11		SEM DEFEITO			28
13		SEM DEFEITO			31
14		SEM DEFEITO			30
15	20X32	TINTA ESCORRIDA	6	05:50	29,5
15	NÃO CADASTRADO	ÁSPERA	1	07:49	29
16		SEM DEFEITO			30
17		SEM DEFEITO			30,5
20		SEM DEFEITO			29,5
21	12x24	BAIXA COBERTURA	5	06:28	29
21	42XDD18	ÁSPERA	2	17:00	30
22		SEM DEFEITO			28,5
23		SEM DEFEITO			31
23	34x15	TINTA ESCORRIDA	3	16:10	30
24		SEM DEFEITO			30
27		SEM DEFEITO			30
28	20X32	ÁSPERA	1	07:00	35
29		SEM DEFEITO		08:20	28
29		SEM DEFEITO		23:50	28

Fonte: o autor.

A primeira análise foi relacionada ao defeito de baixa cobertura, referenciado como “bc”, cujo gráfico de Pareto esta apresentado na Figura 12.

Observando os dados da Figura 12, pode-se afirmar que 62% dos defeitos encontrados estão associados à viscosidade na faixa de 33-34s. Além disso, a viscosidade mais próxima do limite superior de especificação (boletim técnico: 30 a 35 segundos em copo ford número 04) está associada a 10,5% dos defeitos, portanto favorecendo o processo. No entanto, é válido ressaltar que a faixa 30-31s não é apresentada no gráfico, devido ao fato de que nenhum defeito de baixa cobertura foi encontrado quando o processo estava nessa faixa de viscosidade entre março/2020 e agosto/2020.

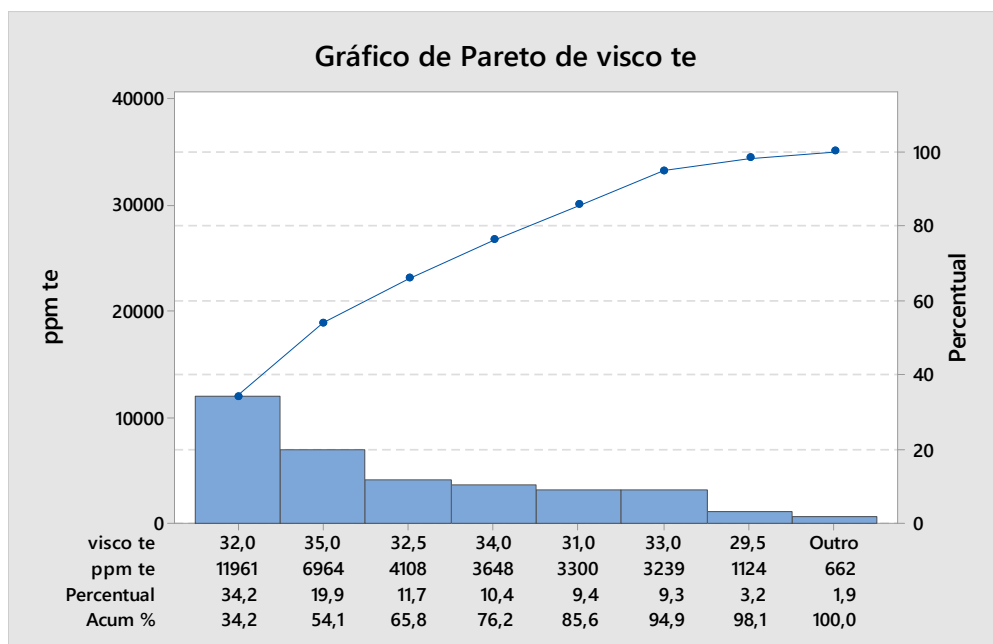
Figura 12: Gráfico de Pareto para o defeito de baixa cobertura.



Fonte: o Autor.

Uma segunda análise foi a referente ao defeito de tinta escorrida, apresentado na Figura 13 como “te”.

Figura 13: Gráfico de Pareto para o defeito de tinta escorrida.

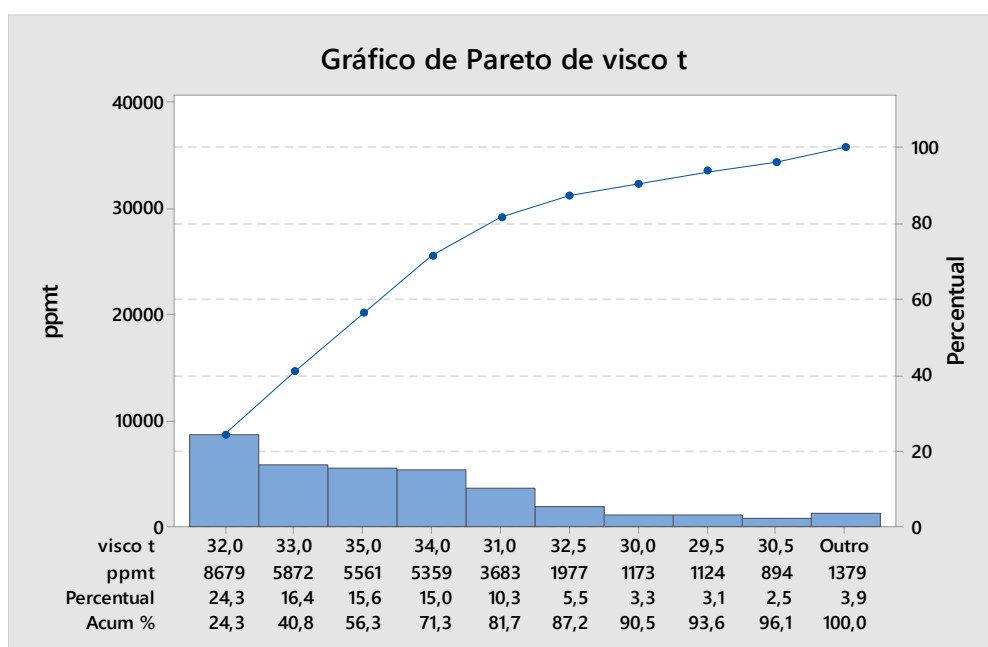


Fonte: o Autor.

A análise da Figura 13 permite observar que 76,2% dos defeitos foram encontrados quando a viscosidade estava acima de 32s, com exceção do valor 33s. Esse resultado sugere que valores maiores de viscosidade estão associados a maiores retrabalhos e valores de viscosidade mais baixos, como 30-31s, estão associados a menores quantidades de defeitos, uma vez que apenas 9,4% dos defeitos foram anotados quando a viscosidade estava em 31s e não há dado de defeito de tinta escorrida quando essa estava a 30s.

A Figura 14, portanto, refere-se à somatória dos defeitos analisados e exibe o seguinte resultado, referenciado como “t” de total.

Figura 14: Gráfico de Pareto para os defeitos somados de baixa cobertura e de tinta escorrida.



Fonte: o autor.

Analizando-se a Figura 14, pode-se afirmar que 71,3% dos defeitos de tinta escorrida e de baixa cobertura, estão associados a viscosidades entre 32-35s e 15,8% dos defeitos estão associados à viscosidade entre 30-31s, de modo que, a viscosidade nesta faixa aparentemente favorece o processo.

Desse modo, a análise dos dados de retrabalho mostra que a tinta com viscosidade mais próxima ao limite inferior da especificação favorece menores quantidades de defeitos de tinta escorrida e de baixa cobertura, sendo o ideal para se utilizar no processo.

4.2 Construção das curvas de viscosidade

Com as conclusões obtidas da análise dos gráficos de Pareto, curvas de viscosidade da tinta foram construídas utilizando amostras com diferentes proporções de solvente, com o objetivo de encontrar uma formulação capaz de minimizar os efeitos de pintura.

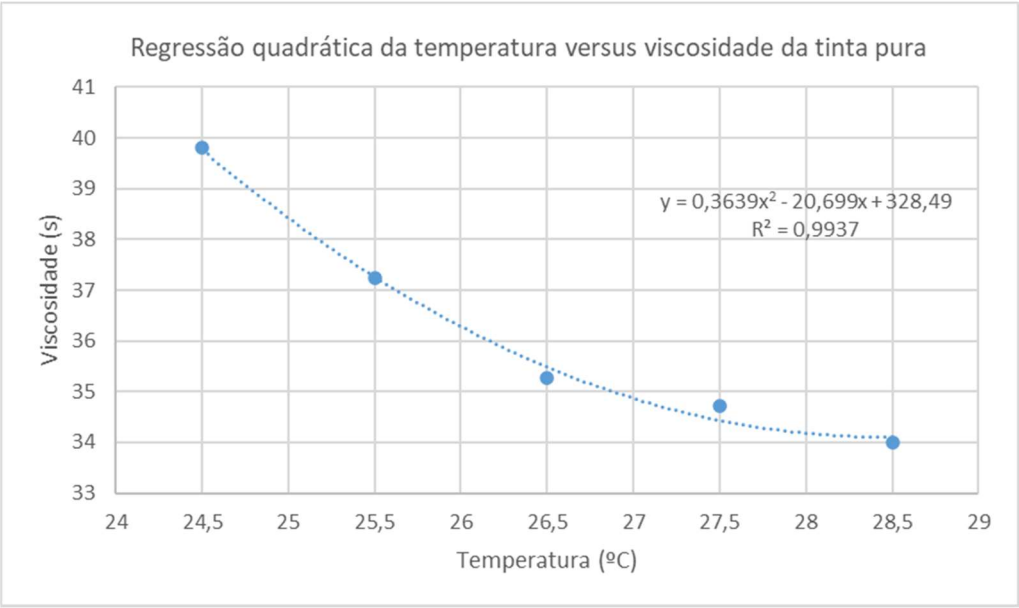
A primeira curva realizada foi da tinta pura, ou seja, sem solvente. Todos os testes foram feitos com os mesmos instrumentos e em um ambiente controlado para que fossem reduzidos erros sistemáticos.

O experimento foi conduzido da seguinte forma: uma amostra de tinta foi retirada do reservatório que envia tinta para a cabine de pintura. A seguir, a amostra foi levada ao laboratório, onde a temperatura é controlada. Com ajuda de um banho com água fria, a tinta foi resfriada de 30 até 18°C e três medições de viscosidade foram realizadas (Copo Ford nº04) em cada grau de temperatura.

A Figura 15 apresenta a curva de viscosidade da tinta pura. O modelo que mais se ajustou aos dados foi o modelo quadrático, apesar de o modelo exponencial ser, a princípio, o mais utilizado para ajustar dados de viscosidade em função da temperatura. Isso pode ser explicado devido à própria natureza da tinta. Como enunciado anteriormente, a tinta alvo desse estudo possui em sua composição o pigmento amarelo, fazendo com que essa tinta comporte-se como um fluido de maior tixotropia. Esse tipo de fluido têm como característica principal a dependência da viscosidade com o tempo de cisalhamento. Desse modo, sua estrutura é quebrada à medida que o tempo decorre, fazendo com que a viscosidade caia até atingir um valor mínimo. Assim, a regressão quadrática dos dados apresenta um bom coeficiente de determinação com o valor de 0,98, o que prova a boa correlação entre os dados analisados.

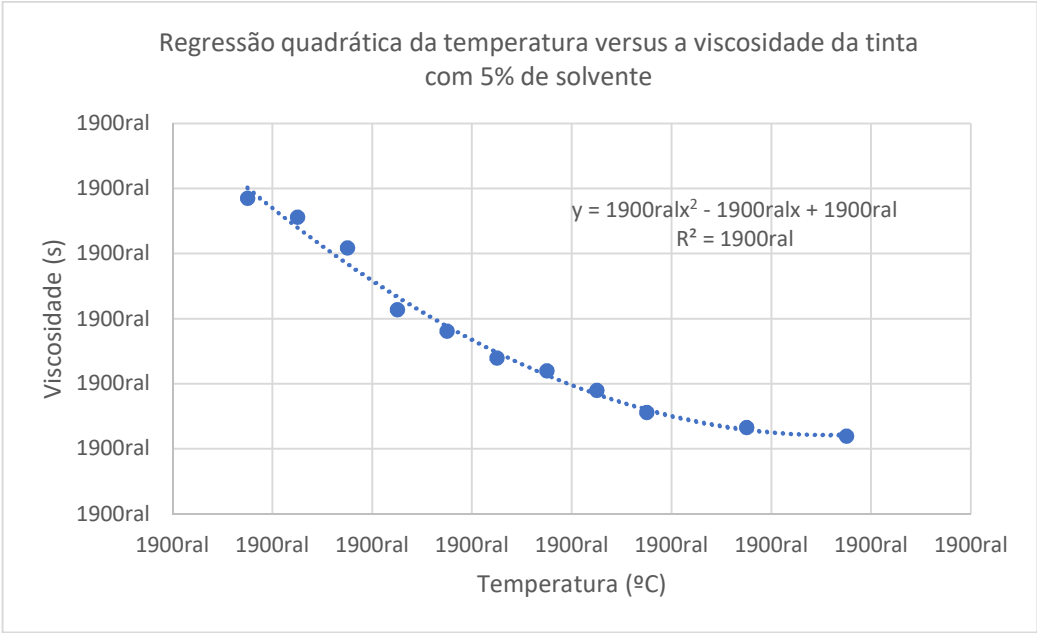
O próximo teste foi realizado da mesma forma do anterior, com a única diferença sendo a composição da tinta, apresentando 5% de solvente. O resultado da curva de temperatura “versus” viscosidade está apresentado na Figura 16. Novamente o modelo que mais se ajustou aos dados foi o quadrático. O coeficiente de determinação apresentou valor de 0,98 o que prova a boa correlação entre os dados de viscosidade e temperatura analisados.

Figura 15: Regressão quadrática da temperatura versus viscosidade da tinta pura.



Fonte: o autor.

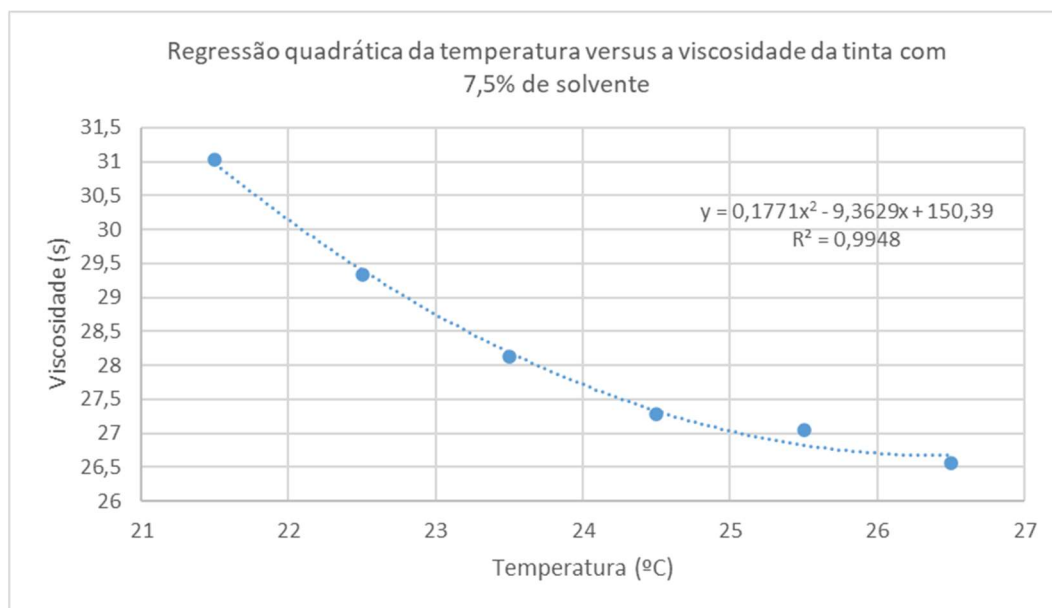
Figura 16: Regressão quadrática da temperatura versus a viscosidade da tinta com 5% de solvente.



Fonte: o autor.

O mesmo procedimento foi realizado com uma amostra de tinta com 7,5% de solvente cujos resultados são apresentados na figura 17. Novamente, como esperado a Figura 17 indica que há relação significativa entre as variáveis e o coeficiente de determinação apresenta valor de 0,99.

Figura 17: Regressão quadrática da temperatura versus a viscosidade da tinta com 7,5% de solvente.



Fonte: o autor.

Os dados de viscosidade e temperatura foram agrupados em uma tabela com os mesmos dados de abscissa e diferentes valores de ordenada, sendo cada coluna de eixo y como uma proporção de solvente diferente, apresentados na Tabela 2.

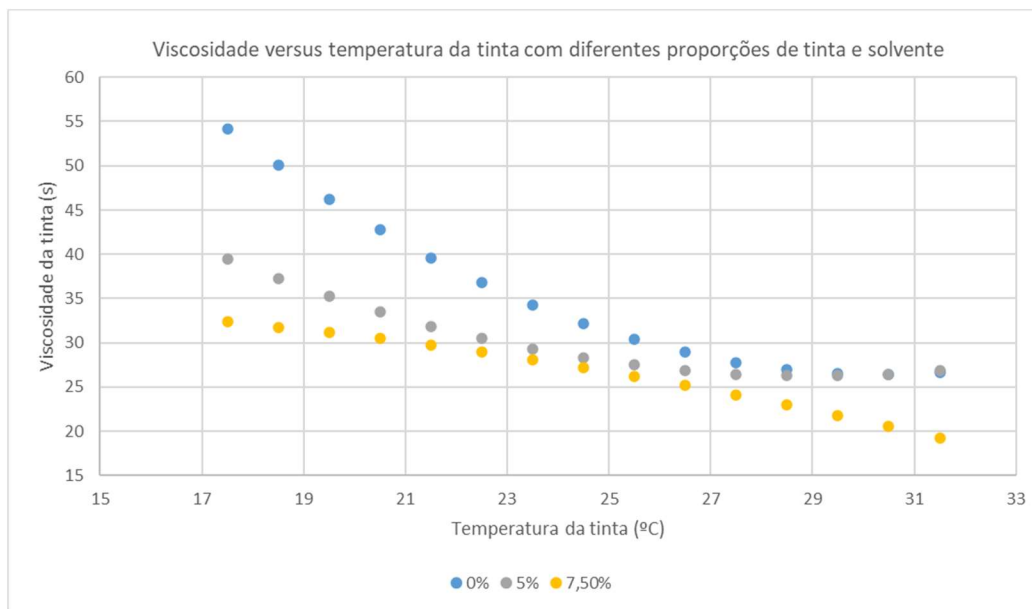
Tabela 2: Dados de temperatura versus viscosidade da tinta com diferentes proporções de solvente.

Temperatura (°C)	Proporção de solvente		
	0%	5%	7,50%
Viscosidade (s)			
31,5	26,63282	26,8681	19,2362
30,5	26,42042	26,4729	20,5374
29,5	26,54343	26,2769	21,7826
28,5	27,00183	26,2801	22,9718
27,5	27,79563	26,4825	24,105
26,5	28,92482	26,8841	25,1822
25,5	30,38943	27,4849	26,2034
24,5	32,18943	28,2849	27,1686
23,5	34,32483	29,2841	28,0778
22,5	36,79563	30,4825	28,931
21,5	39,60183	31,8801	29,7282
20,5	42,74343	33,4769	30,4694
19,5	46,22043	35,2729	31,1546
18,5	50,03283	37,2681	31,7838
17,5	54,18063	39,4625	32,357

Fonte: o autor.

Com os dados da Tabela 1 foi possível construir o gráfico da Figura 18, que relaciona os dados de temperatura, viscosidade e tinta com diferentes proporções de tinta e solvente.

Figura 18: Viscosidade versus temperatura da tinta com diferentes proporções de tinta e solvente.



Fonte: o autor.

O gráfico da Figura 18 foi construído para ser utilizado pelos operadores na própria fábrica. A partir de sua observação, o funcionário pode orientar-se para que seja adicionada a quantidade de solvente ideal na tinta para manutenção da viscosidade de 30 a 31 segundos em função da temperatura, visando minimizar os defeitos de pintura.

4.3 Testes em linha

Após a definição da viscosidade ideal para a pintura das rodas e com o auxílio do gráfico apresentado na Figura 18, foram realizados testes em linha com a tinta nas condições encontradas como sendo as que mais favorecem o processo. Dois testes foram realizados com a viscosidade de aplicação da tinta no valor encontrado como aparentemente favorável ao processo, ou seja, 30-31s.

4.3.1 Teste em pequena escala

O primeiro teste foi realizado em pequena escala, com três rodas pequenas, uma vez que, se o resultado fosse realmente favorável, poderia-se elevar o teste para escala

industrial. No entanto, caso o resultado se apresentasse desfavorável, não haveria grandes prejuízos à empresa.

O primeiro teste foi realizado em três rodas pequenas com dimensão de 16"x5,5". A tinta no dia em questão estava com viscosidade de 33s a temperatura ambiente que, no momento do teste, era de 28,5°C. Assim, foi adicionado 100ml de solvente acetato de butila para abaixar a viscosidade para 31s a temperatura ambiente, conforme os resultados apresentados na Figura 19 Para avaliar o teste, foram analisados se existia defeitos de pintura, além de terem sido feitos testes de cor, brilho e aderência. Como resultado das análises, nenhum defeito de tinta escorrida ou de baixa cobertura foi observado. Os testes de cor e de brilho também apresentaram valores dentro dos limites da especificação. O teste de aderência também foi realizado e foi constatado que não havia tendência de deslocamento da tinta, ou seja, a tinta penetrou de forma adequada ao substrato. Ademais, até mesmo a pintura de cobertura de borda (cobertura nas arestas do baixo relevo da roda) também apresentou resultados satisfatórios. As Figuras 19 e 20 apresentam os resultados do teste realizado.

Figura 19: Foto de uma das rodas do primeiro teste que não apresentou defeitos de pintura.



Fonte: o autor

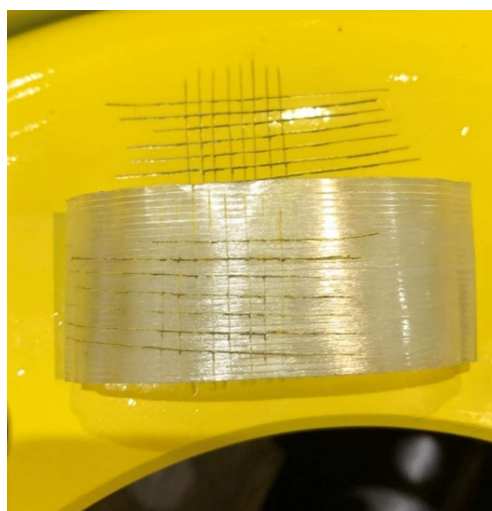
Figura 20: Detalhe nas bordas da gravação que apresentaram resultados satisfatórios.



Fonte: o autor.

Um teste de aderência também foi realizado. Esse teste tem por objetivo mostrar se a tinta teve boa penetração no substrato e não possui tendência de descolar da roda ou fragmentar-se. Para a realização desse teste, são feitos onze cortes no substrato na horizontal e na vertical, com espaçamento de 1mm, de maneira a formar uma região quadriculada e, a seguir, uma fita específica é colocada sobre os cortes e puxada. O resultado esperado é que, após ser puxada, a fita não desgrude nenhum quadradinho da malha quadriculada, ou seja, não seja capaz de deslocar a tinta. O resultado do teste foi bastante satisfatório, como demonstrado na Figura 21, uma vez que a tinta não apresentou tendência de descolar do substrato.

Figura 21: Detalhe do teste de aderência.



Fonte: o autor.

4.3.2 Teste em larga escala

Com o sucesso do teste em pequena escala, um teste em larga escala foi conduzido para avaliar os resultados e verificar se existiam outros fatores influenciadores que deixaram de ser considerados ao longo do estudo.

O teste foi conduzido por duas semanas, com expediente de segunda a sábado na parte da manhã e tarde. Durante os dias de teste, a tinta foi manipulada para a viscosidade 31 segundos à temperatura ambiente através da adição de solvente acetato de butila para correção da viscosidade.

Nesse período, foram monitorados a quantidade e o tipo de defeito apresentado na inspeção de rodas. Pela observação dos relatórios de produção da empresa, não foram registradas rodas rejeitadas por tinta escorrida ou por baixa cobertura no intervalo analisado. Foram apenas apontados defeitos mínimos relacionados à pintura que geralmente são corrigidos brevemente, sem que se tenha que rejeitar a roda e submetê-la novamente ao processo de pintura.

Para validar o teste de forma final, foram realizados testes de aderência, de cor e de brilho. As rodas foram aprovadas em todas as categorias provando a eficácia do estudo apresentado nesse trabalho. Assim, utilizar a tinta com viscosidade de 31 segundos (Copo Ford nº4) à temperatura ambiente, de fato, foi favorável ao processo e solucionou os problemas de defeitos de pintura com tinta escorrida e baixa cobertura, que antes apresentavam índices altos de retrabalho. Esse resultado pode ser explicado, uma vez que a tinta com viscosidade menor possui uma capacidade melhor de espalhar no substrato, quando submetida à aeração nas pistolas eletrostáticas, assim falhas relacionadas à cobertura da tinta foram solucionadas e o aspecto visual final da roda também se mostrou melhor. Além disso, quando a tinta se espalha de forma mais homogênea pela superfície da roda, a tendência de formar pontos localizados de acúmulo de tinta é menor, dessa maneira, defeitos de tinta escorrida são bem menos recorrentes.

A Figura 22 apresenta uma região da roda que apresentava altos índices de escorrimiento antes da implementação desse estudo e após as modificações não apresentou mais falhas de pintura. A problemática dessa região se deve ao fato de que a aplicação da tinta é feita de maneira mais lenta, para que seja possível cobrir toda a superfície do

parafuso e, desse modo, é mais propício ao escorrimento, uma vez que terá uma maior quantidade de tinta, comparado à região do disco da roda.

Figura 22: resultado do teste em larga escala na região do parafuso que apresentava bastante escorrimento.



Fonte: o autor.

Na Figura 23, é possível observar o detalhe da performance da tinta na cobertura de borda que também apresentou bom resultado. O resultado desejado é aquele quando não é possível enxergar a cor da camada inferior à da tinta amarela nas arestas do baixo relevo da gravação “Brazil”. Quando a tinta não espalha de forma adequada, a tendência é que as arestas do baixo relevo da roda fiquem evidentes e o aspecto visual não é aceitável pelo cliente.

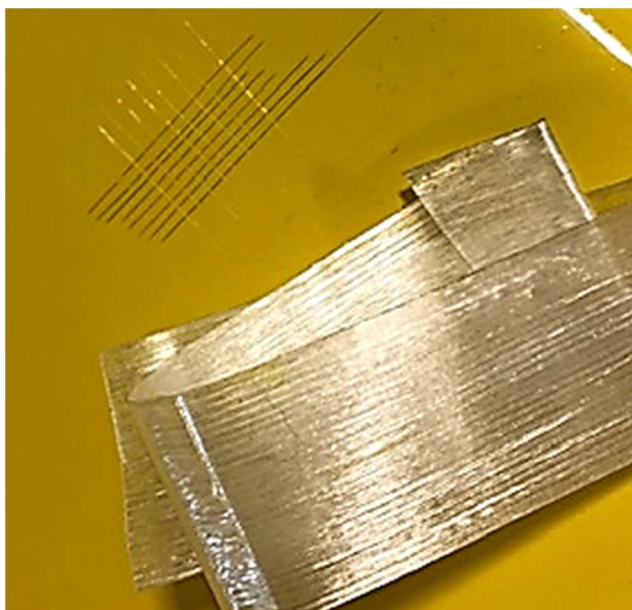
Figura 23: detalhe da cobertura de borda.



Fonte: o autor.

O teste de aderência, conforme Figura 24, foi realizado nas rodas e também apresentou resultado perfeito, ou seja, a tinta aderiu perfeitamente ao substrato, e não apresentou tendência de deslocamento, já que nenhum quadrado da malha quadriculada foi retirado ao ser puxada a fita sobre essa região.

Figura 24: teste de aderência que apresentou resultado excelente.

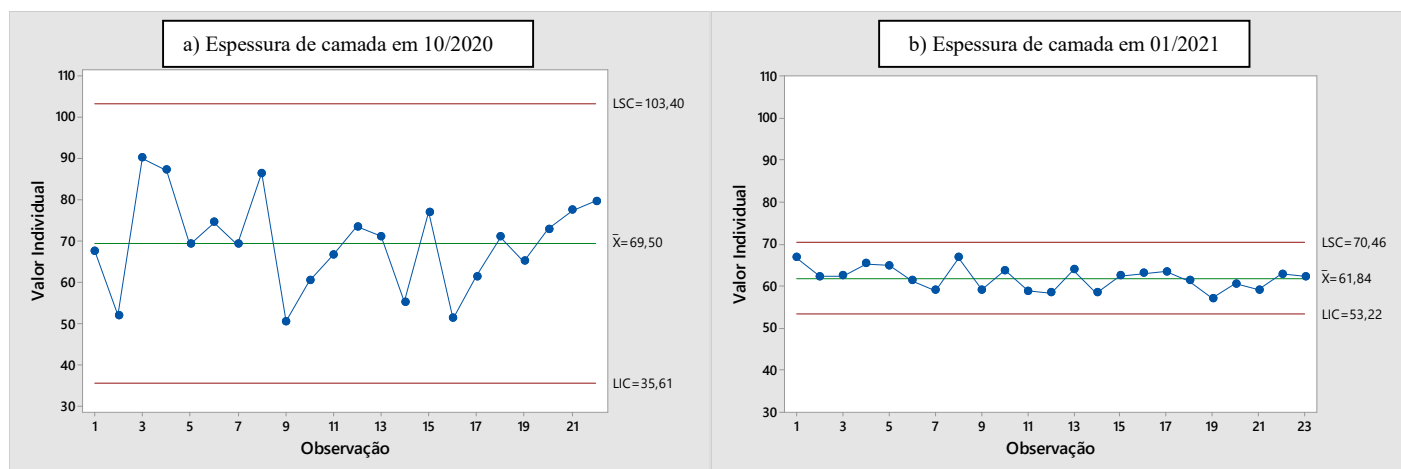


Fonte: o autor

4.4 Análise de estabilidade

A estabilidade do processo, antes e após as alterações feitas no parâmetro de viscosidade da tinta, foi analisada através de cartas de controle. Nas cartas de controle apresentadas na Figura 25, estão exibidos valores de espessura de camada encontradas no processo no mês de outubro de 2020 e em janeiro de 2021, respectivamente. Ambos os gráficos estão com os eixos com os mesmos valores, o que facilita a observação dos limites estatísticos superior e inferior. É possível observar que o processo em outubro apresentava espessura de camada média maior em aproximadamente $10\mu\text{m}$ e limites estatísticos muito maiores em relação ao mesmo processo em janeiro deste ano. Esse resultado é interessante à Empresa, visto que foi possível produzir a roda com a mesma qualidade, porém utilizando menor quantidade de matéria prima.

Figura 25: Cartas de controle da espessura de camada do processo em outubro de 2020 (a) e em janeiro de 2021 (b).

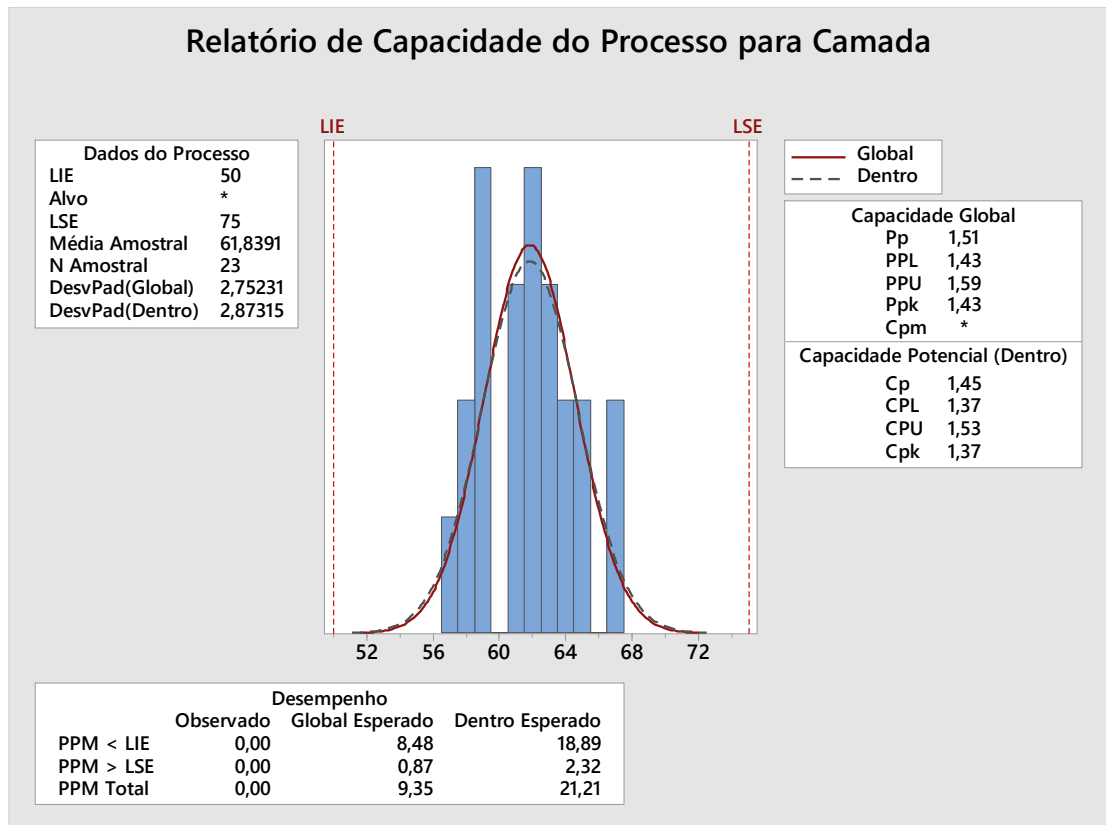


Fonte: o autor.

No relatório de capacidade, apresentado na Figura 26, foi possível observar os dados da estabilidade do processo em janeiro de 2021, após as alterações de viscosidade serem adotadas. O valor de c_p encontrado foi de 1,45, ou seja, maior do que 1,33, desse modo, o processo apresenta boa tolerância a variações não sendo sensível a elas. O processo apresentou c_{pk} de 1,37, o que é extremamente relevante, uma vez que valores acima de 1,33 provam que o processo é capaz e não possui tendência de oscilações, uma vez que a distribuição dos dados está centrada e há baixa variação em relação aos limites de especificação. O desvio padrão apresentou também um bom resultado no valor de 2,87, o que prova que os dados se apresentam de forma homogênea.

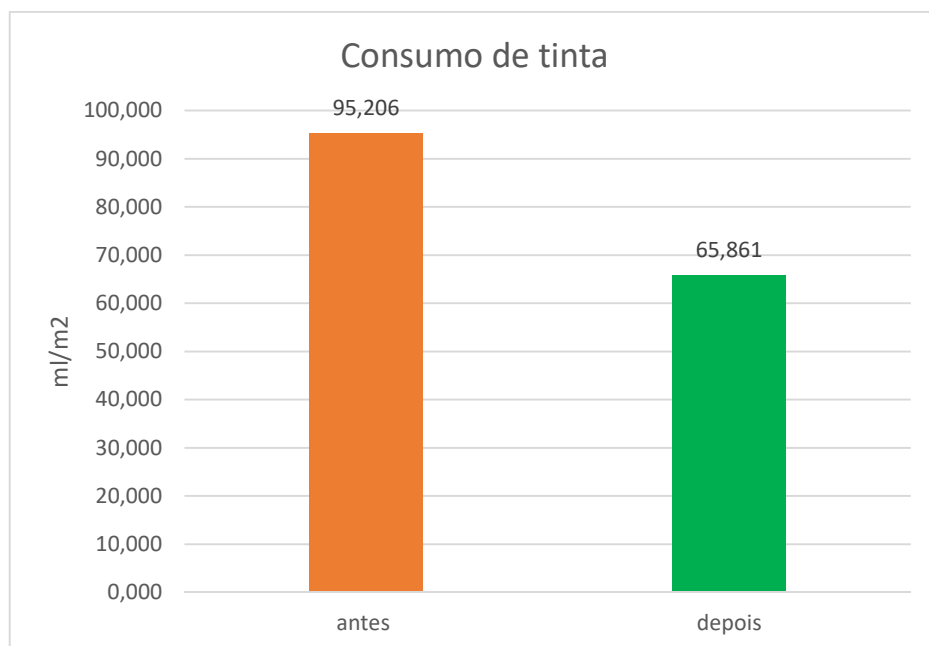
Em relação ao consumo de tinta, o resultado também se apresentou excelente. A Figura 27 compara o consumo de tinta em mililitros por metro quadrado pintado no período anterior ao teste, com o consumo durante a aplicação do teste. Como demonstrado, houve uma diminuição de 30,8% no consumo de tinta, representando uma importante economia de matéria prima para a empresa. Essa diminuição do consumo de tinta é coerente com os resultados apresentados anteriormente, uma vez que a tinta com menor viscosidade é naturalmente “mais fina” e, portanto, a média de espessura de camada encontrada tende a ser menor (veja Figura 28) nas rodas, diminuindo seu consumo.

Figura 26: Relatório de capacidade do processo para camada.



Fonte: o autor.

Figura 27: Consumo de tinta em ml/m² antes e depois nas alterações dos parâmetros de viscosidade da tinta.



Fonte: o autor.

5. CONCLUSÃO

O estudo apresentado demonstrou que a viscosidade da tinta no momento da pintura exerce alta influência sobre a incidência de defeitos encontrados na pintura de rodas da cor analisada. Assim, a utilização da viscosidade de trabalho mais próxima do limite inferior da especificação do fabricante da tinta demonstrou ser mais favorável ao processo devido ao menor número de defeitos encontrados na pintura das rodas. Além disso, as rodas apresentaram espessura de camada de tinta média inferior com relação ao processo anterior às alterações, de modo que houve redução no consumo de tinta por metro quadrado pintado. Essas melhorias são essenciais à empresa uma vez que terão impacto direto na redução dos custos de produção. É necessário ressaltar também que o controle da viscosidade à temperatura ambiente e entre a faixa de 30 e 31 segundos estabilizou o processo, apresentando um cpk de 1,37.

6. REFERÊNCIAS

- ABRAFATI, Tintas imobiliárias. 3º ed. São Paulo: Editora Edgard Blüncher Ltda., 2012.
- Associação Portuguesa de Tintas. (2013). www.aptintas.pt. Obtido em 25/01/2013: <http://www.aptintas.pt/tiposTintas.aspx>.
- CARVALHO, M. M.; Paladini, E. P. Gestão da qualidade: teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- COOPER, Donald R.; SCHINDLER, Pamela S.. BUSINESS RESEARCH METHODS. 12. ed. New York: McGraw-Hill Irwin, 2014. 726 p.
- CORRÊA, Kamila Taira Paschoal Alves; VASCONCELOS, Alexandre Meira de. Análise da Capacidade do Processo de Secagem em uma Cerâmica Vermelha. Cerâmica Industrial, Campo Grande, v. 5, n. 20, p. 40-44, jun. 2015.
- COSTA, Camila Moreira. CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE FLUIDOS COMPLEXOS. Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Mecânica, 2017.
- COSTA, Milton. Artigo técnico - Entenda o que é a tixotropia. 2006. Disponível em: https://www.crq4.org.br/informativomat_285. Acesso em: 01 set. 2020.
- d'ÁVILA, S.G. - Ensino de Engenharia Química no Brasil: Uma Avaliação Preliminar Quantitativa – e - Ensino de Engenharia Química - Anais do I Encontro Brasileiro Sobre o Ensino de Engenharia Química, 12-13/novembro/1981, Campinas, SP, e do II Enc. Bras. Ens. Eng. Química, 25-27/julho/1988, páginas 1 a 7 e 8-38.
- DONDI, M.; BLOSI, M.; GARDINI, D.; ZANELLI, C.. Pigmentos Cerâmicos para Tintas de Decoração Digital: visão geral. Cerâmica Industrial, [S.L.], v. 17, n. 5-6, p. 23-29, 2012. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.026>.
- DORNELLES, Kelen Almeida. ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS: MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO E BASE DE DADOS PARA TINTAS LÁTEX ACRÍLICA E PVA. 2008. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- EVANS, J. R. Introduction to statistical Process Control. Fundamentals of Statistical Process Control. American Management Association. 1994. 168 p.
- JESUS, Tiago Mota. Análise estatística do processo de pintura de cadeiras fabricadas em madeira por uma indústria moveleira do oeste do Paraná. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.
- LIMA, Renato Moraes. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA SUPERVISÃO E CONTROLE DE PLANTAS DE PROCESSOS QUÍMICAS POR COMPUTADOR. 1992. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.
- MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico de qualidade. 4. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2004.
- MONTGOMERY, D.C., Design and Analysis of Experiments. Arizona: Courier Companies, 1991.

- OAKLAND, J. S. Statistical Process Control. 2th Edition. 2003.
- PALADINI, E. P. Perspectiva estratégica da qualidade. In: Carvalho, M. M.; Paladini, E. P. (Coords.). Gestão da Qualidade: Teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, p.23-84, 2005.
- PEREZ, Valeria Vasconcelos; PAULISTA, Paulo Henrique. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS: ANÁLISE DE GRÁFICOS DE CONTROLE. 2015. 4 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário de Itajubá, Itajubá, 2015.
- PERLINGEIRO, Carlos Augusto G.. Engenharia de Processos. São Paulo: Blucher, 2005.
- PICOLOTTI, Ana Caroline Machado. REFORMULAÇÃO DE TINTA ACRÍLICA E AVALIAÇÃO DE SEU COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO APLICADOS EM DIFERENTES SUBSTRATOS. 2016. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Educação e Tecnologia, Satc, Criciúma, 2019.
- PIEROZAN, Leonardo. Estabilização de processos: um estudo de caso no setor de pintura automotiva. 2001. 121 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- PILZ, Cláudia Ferrari. INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DA RESINA NAS PROPRIEDADES DE UMA TINTA BASE ÁGUA. 2001. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- POLITO, Giulliano. Principais Sistemas de Pinturas e suas Patologias. 2006. Disponível em: <https://www.santanadeparnaiba.opintor.com/wp-content/uploads/2017/10/pintor-em-apostila-de-pintura.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- RIBEIRO, José Luís Duarte; CATEN, Carla Schwengber ten. Projeto de experimentos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2011.
- RODRIGUES, Achilles. O Princípio de Pareto (regra 80/20) como Ferramenta de Gestão. Disponível em: <https://achilesrodrigues.com.br/o-principio-de-pareto-regra-80-20-como-ferramenta-de-gestao/>. Acesso em: 05 jan. 2021.
- ROSA, Deyse Dayane Santos. COMPARAÇÃO DA TINTA ACRÍLICA DE ACABAMENTO SEMI RELAÇÃO A TINTA ACRÍLICA DE ACABAMENTO FOSCO NO REVESTIMENTO DE PAREDES. 2014. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Faculdade do Noroeste de Minas Gerais, Paracatu, 2014.
- ROSÁRIO, M. B. Controle estatístico de processo: um estudo de caso em uma empresa da área de eletrodomésticos. 2004. 112p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre.
- SILVA, José Dinis Cruz da. Estudo de Tintas Autolimpantes e Purificadoras. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga-Portugal, 2013.

- SOLIS, : Pablo Esteban Salinas. CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE FLUIDO TIXOTRÓPICO. Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Mecânica, 2014.
- WERKEMA, M. C. C; AGUIAR, S. Planejamento e análise de experimentos: como identificar e avaliar as principais variáveis influentes em um processo. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996^a.
- ZAKON, Abraham; PESSOA, Fernando Luiz Pellegrini. AS ENGENHARIAS DE PROCESSO, PROJETO E PROCESSOS QUÍMICOS INDUSTRIAIS. 2014. 11 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.