



University of
Texas Libraries



e-revist@s



Centro Universitário Santo Agostinho

revistafsa

www4.unifsanet.com.br/revista

Rev. FSA, Teresina, v. 22, n. 7, art. 8, p. 159-180, jul. 2025

ISSN Impresso: 1806-6356 ISSN Eletrônico: 2317-2983

http://dx.doi.org/10.12819/2025.22.7.8

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

WZB
Wissenschaftszentrum Berlin
für Sozialforschung



Reaproveitamento de Resíduos da Pintura Eletrostática em uma Empresa de Manufatura

Reuse of Electrostatic Painting Waste in a Manufacturing Company

George Isaac Lopes de Sousa

Discente do Curso de Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Piauí
E-mail: georgeisaac02@gmail.com

José Francisco Pereira dos Santos Neto

Discente do Curso de Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Piauí
E-mail: jose.pereira@ufpi.edu.br

Maria Clara de Oliveira Rodrigues

Discente do Curso de Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Piauí
E-mail: m.c.oliveirarodrigues0@gmail.com

Maria do Socorro Ferreira dos Santos

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande
Professora do Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Piauí
E-mail: socorroferreira@ufpi.edu.br

Endereço: George Isaac Lopes de Sousa

Universidade Federal do Piauí, Campus Universitário
Ministro Petrônio Portella - Ininga, Teresina - PI, 64049-550, Brasil.

Endereço: José Francisco Pereira dos Santos Neto

Universidade Federal do Piauí, Campus Universitário
Ministro Petrônio Portella - Ininga, Teresina - PI, 64049-550, Brasil.

Endereço: Maria Clara de Oliveira Rodrigues

Universidade Federal do Piauí, Campus Universitário
Ministro Petrônio Portella - Ininga, Teresina - PI, 64049-550, Brasil.

Endereço: Maria do Socorro Ferreira dos Santos

Universidade Federal do Piauí, Campus Universitário
Ministro Petrônio Portella - Ininga, Teresina - PI, 64049-550, Brasil.

Editor-Chefe: Dr. Tonny Kerley de Alencar Rodrigues

Artigo recebido em 12/08/2025. Última versão recebida em 25/08/2025. Aprovado em 26/08/2025.

Avaliado pelo sistema Triple Review: a) Desk Review pelo Editor-Chefe; e b) Double Blind Review (avaliação cega por dois avaliadores da área).

Revisão: Gramatical, Normativa e de Formatação



RESUMO

Esse estudo analisou os desperdícios no processo de pintura eletrostática em uma empresa metalúrgica, visando identificar e quantificar os resíduos de tinta em pó e propor soluções de reaproveitamento. Utilizando um estudo de caso com abordagem qualitativa e quantitativa, foram mapeados os pontos críticos de perda, como overspray, vazamentos, tinta contaminada e empedrada. Após a implementação de medidas como manutenção preventiva, limpeza adequada e melhor armazenamento, a empresa reduziu significativamente os resíduos gerados. A avaliação técnica mostrou que parte da tinta pode ser reutilizada em peças de menor exigência estética ou como insumo em outros setores. Conclui-se que a gestão eficiente dos resíduos contribui para maior sustentabilidade, redução de custos e melhoria da Competitividade industrial.

Palavras-chave: Reaproveitamento. Pintura Eletrostática. Resíduos Industriais. Sustentabilidade. Manufatura

ABSTRACT

This study analyzed waste in the electrostatic powder coating process of a metalworking company, aiming to identify and quantify powder paint residues and propose reuse solutions. Through a case study with qualitative and quantitative methods, critical loss points such as overspray, leaks, and contaminated or hardened powder were mapped. After implementing preventive actions, cleaning routines, and improved storage, waste was significantly reduced. The technical assessment showed that some powder can be reused on less demanding parts or in other industries. Efficient waste management promotes sustainability, cost reduction, and enhanced industrial competitiveness.

Keywords: Reuse. Powder Coating. Industrial Waste. Sustainability. Manufacturing

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os setores industriais vêm enfrentando o desafio de obter mais eficiência em sua produtividade, ao reduzir o uso excessivo de insumos. No setor metalúrgico, a pintura eletrostática com tinta em pó recebe ampla aceitação devido à sua resistência e uniformidade do acabamento, além de liberar um menor volume de compostos orgânicos voláteis em comparação com os métodos tradicionais de pintura líquida (DU *et al.*, 2016).

Entretanto, apesar das vantagens técnicas, a eficiência do sistema de pintura depende da taxa de transferência do pó para as peças a serem trabalhadas, sendo frequentes perdas acima de 30%, especialmente nas trocas de cores e desde que o ajuste seja feito de modo inadequado (TABORDA *et al.*, 2014). O processo é constituído de etapas como: pré-tratamento da superfície metálica, aplicação da tinta e cura térmica, necessitando de insumos como tintas, produtos químicos e gás. A gerência adequada desses insumos se faz necessária para garantir minimizar as perdas e manter a qualidade do produto (VALENÇA *et al.*, 2017).

A falta de um plano de gerenciamento de resíduos (PGRS) e a ausência de uma consciência ambiental têm criado dificuldades em separar, reciclar e reutilizar os resíduos, gerando elevados custos de descarte (EZEQUIEL; BIASI; BERTOLINI, 2023). Entre os resíduos, os desperdícios ocorridos no processo de pintura eletrostática, tendo os resíduos de tinta em pó como os principais, contaminados, por sua vez, por impurezas do meio ambiente ou por sujeira provocada por diferentes pigmentações (BRUXEL *et al.*, 2022).

Ademais, a carência de dados confiáveis sobre os volumes de resíduos gerados e seus custos associados limitam a ação das empresas na tomada de decisões em busca de soluções mais adequadas e sustentáveis. Estudos relatam que mesmo os processos mais eficientes, como a pintura eletrostática, também geram resíduos nos casos em que não haja planejamento integrado, bem como controle através de indicadores ambientais e econômicos (PFITSCHER; VOSS, 2010).

Embora existam iniciativas isoladas na indústria, voltadas para reduzir desperdícios, nota-se, na prática, uma carência de estudos aplicados, especificamente no processo das pinturas eletrostáticas de forma integrada ao fluxo real da produção. A falta de informações estruturadas compromete a visibilidade dos problemas, bem como o desenvolvimento de soluções viáveis considerando as restrições técnicas e organizacionais (SOUSA *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar os desperdícios no processo de pintura eletrostática de uma empresa metalúrgica de médio porte em Teresina – PI, por meio da identificação e quantificação dos resíduos gerados da tinta em pó. A proposta é

mapear os pontos críticos do processo, medir a relação entre insumo e resíduo gerado e apresentar resultados claros, oferecendo subsídios técnicos que auxiliem no planejamento de ações que reduzam perdas e melhorem a eficiência do setor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pintura eletrostática: fundamentos e aplicação industrial

A pintura eletrostática, com tintas em pó, é uma grande inovação no tratamento de superfícies metálicas. Elaborada nos Estados Unidos na década de 1950, a tecnologia utilizava, em seus primórdios, leitos fluidizados. Na década subsequente, as extrusoras e pistolas eletrostáticas desenvolveram um modo operacional que a tornaram economicamente viável. O processo é notável pela elevada taxa de reaproveitamento de pó utilizado e por eliminar os solventes orgânicos, diminuindo, assim, a emissão dos Compostos Orgânicos Voláteis e os impactos ambientais (KONDLATSCH, 2022).

Além dos benefícios de ordem ambiental e a elevada eficiência, a pintura eletrostática também é eficiente em termos de operação e a durabilidade do revestimento. A forte atração eletrostática entre o pó e o substrato confere elevadíssima aderência até mesmo em superfícies de geometria complexa, resultando em uma cobertura uniforme e resistente aos agentes mecânicos, químicos e da radiação UV (SANTOS *et al.*, 2023; FERREIRA, VOGLER; SILVA, 2019).

O reaproveitamento do pó excedente é uma vantagem relevante do processo, desde que realizado sob critérios técnicos. O uso excessivo de pó recuperado pode prejudicar a fluidez e comprometer o acabamento da peça, sendo recomendada uma proporção equilibrada entre material novo e reutilizado (DU *et al.*, 2016; KONDLATSCH, 2022).

Apesar de ser dotado de muitas vantagens, o processo apresenta limitações operacionais. Um dos principais problemas relacionados ao processo é o chamado "efeito gaiola de Faraday", que compromete a deposição da tinta em lugares fechados, como cantos ou cavidades, devido à distribuição irregular do campo eletrostático. Para minimizar esse efeito, estudos indicam que se devem usar as técnicas de carregamento bipolar, que favorecem a penetração do pó na área mais restrita (BIRIS *et al.*, 2002).

O controle rigoroso de variáveis como aterramento, tensão aplicada, distância pistola-peça, umidade ambiente e temperatura de cura são primordiais para garantir a aderência e a

homogeneidade da camada aplicada. O não controle desses fatores poderá comprometer a qualidade do revestimento e aumentar o desperdício do processo (ADAL-TECNO, 2023).

2.2 Etapas do processo de pintura eletrostática

As etapas fundamentais do processo de pintura eletrostática a pó são: pré-tratamento da superfície, aplicação do pó, tratamento térmico e acabamento final; todas elas são importantes para garantir o desempenho adequado e a durabilidade do revestimento de proteção aplicado.

O processo é iniciado pelo pré-tratamento químico do metal, que efetua a limpeza, remoção de óleos e forma uma camada anticorrosiva, etapa importante para aumento da adesão do revestimento. Na aplicação, é utilizada a pistola eletrostática, que carrega eletricamente as partículas da tinta, as irriga por meio do princípio da atração entre cargas opostas. Para garantia da aplicação uniforme, é importantíssimo o correto ajuste dos parâmetros, tensão elétrica, vazão de pó, pressão do ar comprimido e distância entre pistola e peça (KONDLATSCH, 2022).

Na fase de cura, a peça é levada a estufas estacionárias ou contínuas, onde o pó funde e se polimeriza, formando uma película sólida e resistente. A cura térmica, realizada entre 180 °C e 200 °C, promove a fusão e a reticulação do pó, originando um revestimento sólido e durável. Um controle impróprio poderá resultar em baixa adesão, falhas de cobertura e perdas da resistência química e mecânica do revestimento (KONDLATSCH, 2022).

Para finalizar, a etapa do acabamento envolve os procedimentos de referências visuais e os testes de qualidade, como aderência, espessura da camada, brilho e resistência à névoa salina, realizados para garantir que o revestimento opere de acordo com as exigências técnicas e funcionais da aplicação (DU *et al.*, 2016).

2.3 Insumos envolvidos no processo

A técnica de pintura eletrostática em pó requer diversos insumos que afetam diretamente a eficiência, qualidade e sustentabilidade da operação. Destacam-se dentre eles, a tinta em pó, os produtos do pré-tratamento químico, o gás para aquecimento, a energia elétrica e a água.

A tinta em pó é composta de resinas (poliéster, epóxi ou híbridas), pigmentos, cargas minerais e aditivos. Para sua preservação de estabilidade, deve ser armazenada em local seco,

onde não é atingida pelo calor, com temperatura controlada. O tempo de validade varia entre 12 e 24 meses, dependendo da formulação e condições de armazenamento (KONDLATSCH, 2022; DU *et al.*, 2016).

Entre os produtos químicos de pré-tratamento, destacam-se as soluções fosfatizantes, como o HIPHOS F2, que ao combinar o desengraxe e a fosfatização em uma etapa, dá origem a uma camada amorfa de fosfato de ferro. Os parâmetros pH (entre 4,0 e 5,5), acidez e temperatura (30 °C a 65 °C) devem ser rigorosamente controlados visando eficiência do tratamento (HI-TEC, 2022; PEDRO *et al.*, 2019).

O gás para aquecer a estufa de cura é um dos principais insumos do processo. A eficiência térmica do sistema, o isolamento da câmara e o tempo de operação influenciam diretamente no consumo de gás (BRUXEL *et al.*, 2022).

A eletricidade é igualmente relevante para a função do setor de pintura, pois alimenta os equipamentos, como as fontes de alta tensão das pistolas eletrostáticas e os sistemas de exaustão, ventilação e transporte, entre outras funções. A gestão de energia elétrica pode efficientizar ainda mais o processo, reduzindo desperdícios e aumentando a sua sustentabilidade, recomendando-se o monitoramento por meio de indicadores específicos para isso (VIANA *et al.*, 2012).

Por fim, a água é utilizada principalmente nos enxágues entre os banhos da etapa de pré-tratamento. É importante que passe por tratamento adequado para evitar contaminações que prejudiquem o desempenho da tinta ou provoquem manchas nas peças. Sistemas modernos com recirculação e tratamento de efluentes têm se mostrado eficazes na redução do consumo e no uso mais racional desse recurso (PEDRO *et al.*, 2019).

2.4 Geração de resíduos no processo de pintura eletrostática

Apesar de ser um processo limpo e eficiente, a pintura eletrostática em pó gera resíduos que, sem gestão adequada, comprometem a sustentabilidade e a produtividade.

Dentre eles, o overspray corresponde à tinta que não adere à peça durante a aplicação. Em sistemas com boa recuperação, esse material pode ser reaproveitado. As principais causas de desperdício incluem trocas frequentes de cor, falhas de planejamento, retrabalhos por má aplicação e ociosidade dos equipamentos, reforçando a importância de uma gestão eficiente para mitigar perdas (BRUXEL *et al.*, 2022; FERREIRA, VOGLER; SILVA, 2019).

Outro resíduo relevante é a tinta em pó vencida ou mal armazenada, que perde propriedades como fluidez, reatividade e adesão. A exposição à umidade ou ao calor acelera sua degradação, tornando-a inutilizável e aumentando o desperdício (KONDLATSCH, 2022).

Nos produtos químicos utilizados no pré-tratamento, resíduos ocorrem tanto por arraste de banho quanto por descarte periódico dos tanques. Compostos como fosfatos e tensoativos exigem descarte controlado, visto que podem impactar negativamente o meio ambiente se não forem tratados de forma adequada (HI-TEC, 2022; PEDRO *et al.*, 2019).

2.5 Importância do diagnóstico e controle de perdas no setor industrial

A gestão adequada dos resíduos oriundos do processo de pintura eletrostática é fundamental para a sustentabilidade operacional e econômica das empresas. A identificação, medição e gestão de perdas com suporte em indicadores como taxa de reutilização de tinta, consumo específico de gás ou de energia por unidade produzida e percentual de retrabalho, propiciam menores custos, maior eficiência e alinhamento operacional por meio de práticas de responsabilidade ambiental (VIANA *et al.*, 2012).

As evidências de estudos de casos mostram que a mensuração e a análise das perdas com seus dados reais tornam visíveis gargalos produtivos, práticas não eficientes e desvios que não são percebidos na rotina da operação. Com isso, a partir daí, podem ser implementadas simples ações corretivas do tipo: ajustes dos tempos de cura, limpeza de filtros ou capacitação dos operadores, que a curto prazo já obterão resultados significativos (PEDRO *et al.*, 2019).

O desperdício está diretamente ligado à ineficiência produtiva. Retrabalhos, descarte de tinta contaminada, falhas no sistema e uso inadequado dos insumos elevam os custos operacionais e comprometem a produtividade e a competitividade da empresa. Para enfrentar esses problemas, programas internos de controle de perdas ajudam a criar uma cultura de excelência. Quando alinhados ao planejamento da produção e à qualidade, esses programas tornam a gestão mais sustentável e orientada por resultados, contribuindo para o crescimento da empresa (FERREIRA, VOGLER; SILVA, 2019).

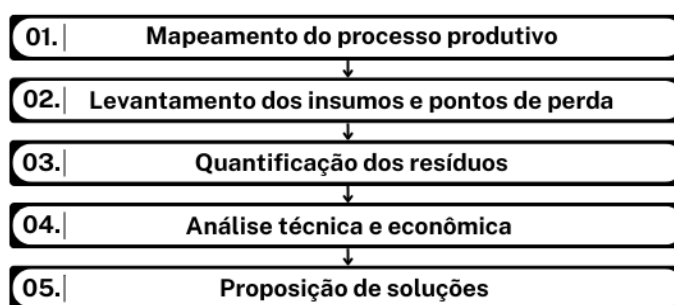
3 METODOLOGIA

Este estudo foi realizado em uma metalúrgica de médio porte em Teresina-PI, com o objetivo de entender e medir a quantidade de resíduos de tinta em pó gerados no processo de

pintura eletrostática. A pesquisa combinou observações e entrevistas (abordagem qualitativa) com medições e cálculos (abordagem quantitativa). A partir disso, buscou-se propor soluções viáveis para o reaproveitamento da tinta, considerando as condições e recursos reais da empresa.

A Figura 1 mostra o fluxo metodológico no desenvolvimento do projeto, apresentando de forma sequencial as cinco etapas que nortearam a definição de desperdícios e a proposição de estratégias para reaproveitamento de resíduos de tinta em pó.

Figura 1 - Fluxo metodológico



Fonte: Autores (2025)

Como apresenta a Figura 1, primeiramente, foi realizado o mapeamento do processo produtivo por observação direta, em campo, na indústria e a partir de Análise documental das Instruções de Trabalho (ITs) da empresa. Esse momento possibilitou um melhor entendimento do fluxo operacional que processa: da preparação das peças até a finalização da pintura, dando ênfase às etapas nas quais se vislumbram perdas ou acúmulo de tinta em pó.

Em seguida, passou-se à identificação dos pontos críticos do processo nos quais há potencial geração de resíduos, com o levantamento dos insumos e pontos de perdas. Foram mapeadas situações como o overspray durante a aplicação da tinta, o acúmulo de material nos filtros do sistema de exaustão, o descarte de tintas com baixa rotatividade de cor e as perdas associadas à limpeza dos equipamentos ou a falhas operacionais.

Posteriormente, foi realizada a quantificação dos resíduos de tinta em pó, com base nas informações de operação da empresa, pesagens diretas e observações em campo. Desse modo, considerou o total de tinta coletada nos filtros, a quantidade de tinta descartada devido a contaminações e troca de cor e o percentual de overspray não utilizado pelo processo.

Em seguida, foi realizada a avaliação técnica e econômica desses resíduos, considerando suas características físicas e químicas e as possibilidades de aproveitá-los novamente na própria empresa. Foram considerados como alternativos o reprocessamento da

tinta acumulada nos filtros, o reúso em peças de menor exigência estética, as limitações técnicas como a contaminação cruzada de cores e perda de qualidade do material.

Por fim, foi realizado um plano de ação para a minimização dos desperdícios, estruturados com os dados obtidos e as análises realizadas no ponto anterior. Dessa forma, com base nos dados coletados e nas análises elaboradas até essa etapa, o plano foi estruturado com ações práticas para tornar a eficiência operacional melhor e minimizar os impactos ambientais.

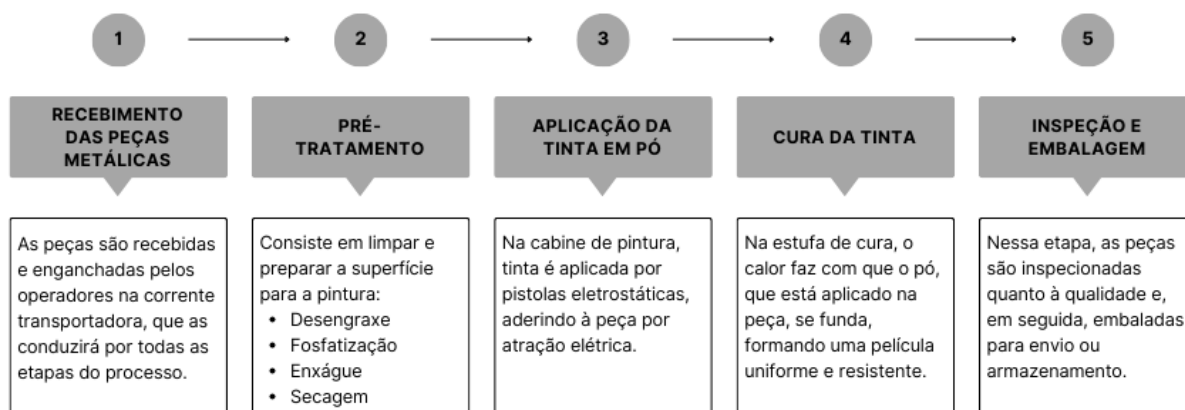
Ademais, as propostas foram construídas considerando as condições específicas do processo de pintura eletrostática, de maneira que as soluções técnicas apresentadas sejam exequíveis e adequadas à realidade da empresa. Ao final é apresentado um quadro síntese que reuniu de forma clara e objetiva, as informações do plano de ação proposto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste segmento, apresentam-se os principais resultados da pesquisa, cujo objetivo foi estudar e identificar os resíduos de tinta em pó provenientes da pintura eletrostática. A análise baseou-se nas observações realizadas in loco na empresa, e a organização das informações foi feita por meio de fluxogramas, gráficos e quadros-resumo, visando facilitar a compreensão e apresentar os dados de forma mais clara e objetiva.

4.1 Mapeamento do processo produtivo

O mapeamento técnico do processo foi realizado a partir de observações diretas no ambiente produtivo e da análise das Instruções de Trabalho (ITs) fornecidas pela empresa. Com base nessas informações, pôde-se elaborar um fluxograma completo do processo de pintura eletrostática, abrangendo desde o recebimento das peças metálicas até a etapa final de cura e inspeção. Esse fluxograma é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do processo de pintura

Fonte: Autores (2025)

O fluxograma, Figura 2, apresenta as principais etapas do processo: enganchamento das peças, pré-tratamento da superfície, aplicação da tinta em pó em cabines específicas (uma para cor cinza e outra para as demais cores), cura térmica e, por fim, inspecionar e embalar o produto.

Durante esse mapeamento, foram identificados os pontos onde mais se geram resíduos, como o excesso de tinta pulverizada (overspray), o acúmulo de pó nos filtros, as perdas durante a troca de cores e o descarte de sobras com baixo potencial de reaproveitamento. Essa representação visual ajudou a focar a análise nas áreas mais críticas do processo, servindo de base para medir e depois avaliar como a tinta descartada poderia ser reutilizada.

4.2 Levantamento dos Insumos e Pontos de Desperdício

Com base no mapeamento técnico do processo de pintura eletrostática, foi possível identificar os principais pontos de desperdício relacionados à tinta em pó. A análise revelou fatores operacionais que comprometem o aproveitamento do insumo e contribuem para o acúmulo de resíduos, especialmente nas fases de aplicação e troca de cores.

A empresa opera com duas cabines de pintura, uma para a cor cinza, de alta demanda, e outra para cores especiais, com menor frequência de uso. Essa configuração, aliada à dinâmica da produção, favorece a geração de desperdícios em diversas frentes. O Quadro 1 apresenta os fatores críticos mais relevantes.

Quadro 1 - Fatores Críticos na Geração de Resíduos na Pintura Eletrostática

Fator Crítico	Descrição
Overspray	Excesso de tinta que não adere à peça, acumulando-se no chão, nas paredes da cabine ou nos filtros.
Vazamento de tinta nas mangueiras	Desgaste, fissuras ou ausência de manutenção preventiva, provocando a liberação de pó no ambiente, gerando perdas e aumento dos resíduos acumulados no chão da cabine.
Troca frequente de cores sem limpeza adequada	Gera acúmulo de resíduos e mistura de pigmentos no filtro de recuperação, impedindo o reaproveitamento do pó e aumentando o desperdício.
Armazenamento inadequado e baixa demanda por cores específicas	Pode causar empedramento da tinta e acúmulo de produtos vencidos ou contaminados, comprometendo a qualidade e gerando perdas.
Falta de controle e indicadores de consumo/reaproveitamento	A ausência de métricas dificulta o gerenciamento eficiente do uso da tinta e do reaproveitamento dos resíduos.
Mão de obra não capacitada	Operadores sem treinamento adequado cometem erros no processo, aumentando o desperdício de tinta e comprometendo a eficiência.
Ociosidade da máquina	Altos períodos sem uso causam desperdício de gás e energia elétrica, aumentando os custos operacionais.

Fonte: Autores (2025)

De acordo com as informações do Quadro 1, destaca-se que o processo de pintura é guiado principalmente pela urgência da produção e pela disponibilidade das cores nas cabines, o que resulta em trocas constantes na cabine secundária, utilizada para aplicação de cores especiais e acionada com menor frequência. Essas trocas exigem limpezas frequentes, provocando contaminação entre pigmentos e o descarte do pó recuperado nos filtros. Como não há separação por cor, a tinta acumulada não pode ser reutilizada de forma segura.

Paralelamente, também foi notado acúmulo de caixas de tintas vencidas ou inutilizáveis, devido ao empedramento do pó, por causa de armazenamento inadequado e longos períodos sem uso. E foi constada a existência de vazamentos nas conexões de mangueiras de tintas, contribuindo para o aumento de resíduos depositados no solo da cabine.

Outro aspecto crítico é a rotatividade dos trabalhadores entre setores sem o devido treinamento. A falta de padronização operacional resulta em falhas na aplicação da tinta,

baixa eficiência e aumento do desperdício. A ausência de indicadores de desempenho e controles de reaproveitamento impede que a empresa dimensione com precisão as perdas, dificultando o planejamento de ações corretivas e preventivas.

4.3 Quantificação dos Resíduos Gerados

Após a identificação dos principais pontos de desperdício no processo de pintura eletrostática, esta etapa visa quantificar os resíduos gerados com base em dados operacionais e medições realizadas. Essa mensuração é essencial para dimensionar o impacto das perdas e orientar ações corretivas viáveis.

O Quadro 2 apresenta os tipos de resíduos identificados, suas origens, frequência de ocorrência e estimativas de volume gerado.

Quadro 2 - Tipos de resíduos gerados no processo de pintura eletrostática

Tipo de Resíduo	Origem do Resíduo	Frequência	Quantidade Estimada
Overspray	Tinta que não adere à peça durante a aplicação	Observada diariamente	Aproximadamente ½ caixa por limpeza (12,5 Kg)
Vazamentos de tinta pelas mangueiras	Tinta em pó perdida por conexões frouxas, rachaduras e ressecamento das mangueiras	Observada diariamente	Aproximadamente ½ caixa por limpeza (12,5 Kg)
Tinta contaminada nos filtros	Mistura de cores nos filtros da cabine colorida por ausência de limpeza	Observada a cada 3 meses	Aproximadamente 20 caixas a cada limpeza (500 Kg)
Tinta empedrada	Armazenamento inadequado e baixa rotatividade de cores	Casos pontuais, porém, recorrentes	Sem quantificação exata

Fonte: Autores (2025)

Como apresenta o Quadro 2, dentre os resíduos, o maior volume está relacionado à tinta contaminada nos filtros da cabine para cores especiais. Devido à falta de separação por cor e à limpeza inadequada entre trocas, estima-se um desperdício de aproximadamente 500 kg a cada três meses, valor que representa perda significativa, especialmente considerando o alto custo da tinta em pó.

Além disso, o excesso de tinta pulverizada (overspray) e os vazamentos nas mangueiras geram, juntos, cerca de 25 kg de resíduos por dia. A tinta empedrada, embora

ocorra com menos frequência, causa perdas contínuas, principalmente em cores pouco utilizadas.

Os dados indicam que é necessário urgentemente implementar melhorias no processo, por exemplo, promovendo manutenção preventiva nas mangueiras, mantendo um cronograma fixo de limpeza dos filtros e armazenando adequadamente as tintas. Essas medidas podem reduzir o volume de resíduos gerados e permitir o reaproveitamento de parte da tinta em pó dirigida ao descarte. Isso torna o processo mais eficiente e ajuda a operação a ser mais sustentável.

4.4 Avaliação Técnica do Potencial de Reaproveitamento

Nesta etapa foram examinadas as opções para reaproveitar os resíduos de tinta em pó gerados na pintura, considerando a viabilidade de reutilização, o nível de contaminação, a forma como estes são armazenados e as exigências dos papéis ambientais.

Quanto à avaliação técnica, esta envolve observar as características do material, como ele é manipulado e separado, assim como avaliar meios para valorizá-lo e compreender como isso pode interferir no desempenho, no meio ambiente e preço. Tendo como base desenvolvimentos já existentes, foram apresentados caminhos em que fosse possível reduzir e reutilizar esses resíduos, de uma maneira sustentável e viável para a empresa.

4.5 Caracterização e Desafios dos Resíduos de Tinta em Pó

No processo de pintura eletrostática, cerca de 95% dos resíduos sólidos vêm da tinta em pó desperdiçada, principalmente por excesso de pulverização (overspray), vazamentos nas mangueiras e contaminação nos filtros. De acordo com a Lista Europeia de Resíduos, esse material é classificado como 08 01 12¹ e, na maioria das vezes, acaba sendo descartado em aterros. Isso significa não só perder a chance de aproveitar um recurso que ainda tem valor, mas também causar impactos negativos ao meio ambiente (VILARINHO *et al.*, 2017).

A composição plástica dessas tintas, com predominância de poliéster, assegura a sua viabilidade de reutilização. No entanto, para a reciclabilidade, fatores como o elevado teor de finos (abaixo de 30 µm), umidade e mistura de pigmentos, a qual ocorre comumente na

¹ Código 08 01 12 da Lista Europeia de Resíduos (LER): refere-se a “resíduos de tinta em pó que não contenham substâncias perigosas”, oriundos da produção ou uso de tintas e vernizes. O código é utilizado para fins de classificação, manuseio e destinação final desses resíduos, conforme legislação ambiental europeia. Códigos com asterisco, como 08 01 11*, indicam resíduos perigosos.

cabine secundária, onde são recepcionadas tintas de menor rotatividade, limitam estas tintas para sua reciclagem. Estas condições afetam o desempenho do fluxo da tinta e sua eficiência na reaplicação (FU *et al.*, 2011).

Outro desafio técnico é a poeira, um dos fatores mais relevantes na rejeição do processo de pintura, que causa altos custos operacionais e baixa produtividade; como alternativa, algumas evidências sugerem usar ionizadores de ar para reduzir o efeito da descarga eletrostática e diminuir a taxa de rejeição (YOSRI *et al.*, 2019).

Além das limitações técnicas, existem os encargos estruturais e organizadores, dentre eles a inexistência de um PGRS e a débil cultura ambiental, que são importantes na correta separação, recuperação e reutilização dos resíduos, além de torná-los maiores e os custos a eles associados (VILARINHO *et al.*, 2017).

4.6 Métodos e Aplicações do Reaproveitamento

Diversas pesquisas oferecem opções criativas para valorizar resíduos de tinta em pó, com um enfoque na sustentabilidade e no desenvolvimento da economia circular. Uma das alternativas mais célebres é a reinscrição direta no processo produtivo, onde a tinta recuperada é novamente utilizada nas pinturas. Embora exista um potencial de reciclagem total do material, esse índice é fortemente limitado na prática pela perda das propriedades de fluidez dos pós mais finos e reaproveitados (FU *et al.*, 2011).

Outra alternativa promissora é usar o pó de tinta para gerar energia, transformando-o em Combustível Derivado de Resíduos (CDR). Para isso, ele é misturado com outros materiais, como serragem e papelão e moldado em pellets (VILARINHO *et al.*, 2017). Essa solução ajuda tanto no aproveitamento energético quanto na redução do volume de resíduos enviados para aterros.

O pó de tinta pode ser utilizado ainda como matéria prima para diferentes indústrias. Na cerâmica vermelha, por exemplo, pode ser incorporado na massa de produção entre 0,5% e 5% do peso, sem prejudicar as propriedades físicas e mecânicas, conforme demonstram ensaios de emissão e lixiviação (BASEGIO *et al.*, 2006).

Na construção civil, o Pó Sólido de Borra de Tinta (PSSP) pode ser utilizado para a produção de concreto. Estudos demonstram que a adição de até 10%, em peso em relação ao cimento, pode aumentar as resistências à compressão e flexão. Acima de 15% ocorre uma queda substancial das propriedades (FENG *et al.*, 2018).

Já na fabricação de compósitos poliméricos, resíduos de tinta termoendurecível têm sido aplicados como carga, alterando características mecânicas, térmicas e de escoamento. Além disso, a borra de tinta pode ser incorporada em materiais cerâmicos reforçados, funcionando como elemento de reforço em ligas metálicas e polímeros (NAKOUZI et al., 1998).

Outro uso relevante está na estabilização e solidificação de resíduos perigosos, como fumos e lodos industriais. Nesse caso, a tinta em pó residual contribui para a redução de contaminantes quando processada a 120°C por 60 minutos (VACCARI; CASTRO, 2019).

Por fim, há também estudos sobre a utilização do lodo de tinta em pavimentação rodoviária, onde atua como modificador de ligantes betuminosos, apresentando bons resultados tanto do ponto de vista tecnológico quanto ambiental (ZANETTI et al., 2018).

4.7 Controle de Qualidade e Implicações

Garantir a qualidade e o bom desempenho do produto final é fundamental quando se reaproveitam resíduos de tinta em pó. Para que essa reutilização seja viável, é preciso realizar testes que verifiquem propriedades como resistência, brilho, espessura da camada, adesão e possíveis liberações de substâncias (lixiviação).

Pesquisas mostram que aspectos como o tamanho das partículas, especialmente as mais finas, com menos de 30 µm, a umidade e a presença de aditivos de fluxo afetam bastante o comportamento da tinta reciclada (FU *et al.*, 2011). Embora, em teoria, a tinta em pó possa ser 100% reciclada, a perda das propriedades de fluxo nos pós mais finos limita seu reaproveitamento na prática.

O outro fator crítico é a poeira, um grande responsável pelas taxas de rejeição de peças durante o processo, que eleva o custo operacional e reduz a produtividade. Para reduzir os efeitos da descarga eletrostática e, como consequência, reduzir as taxas de rejeição foram propostos ionizadores de ar, que são considerados uma ação eficiente (YOSRI *et al.*, 2019).

Na construção civil, o uso de resíduos de tinta em pó no concreto requer cuidado com a quantidade adicionada. Em dosagens inferiores a 10% do peso do cimento, o material pode até melhorar a resistência à flexão e à compressão. Porém, quando ultrapassa 15%, essas propriedades caem de forma significativa, limitando o uso a aplicações com menor exigência estrutural (FENG *et al.*, 2018).

4.8 Considerações Ambientais e Econômicas

A diminuição da geração de resíduos e a valorização deles constituem práticas fundamentais para a sustentabilidade do setor de pintura eletrostática (VILARINHO *et al.*, 2017; Nóbrega *et al.*, 2019). Um caso relevante é a transformação da borra de tinta em Pó Sólido da Borra de Tinta (PSSP), que remove sua condição de resíduo perigoso e, consequentemente, amplia suas possibilidades de reutilização (FENG *et al.*, 2018).

A análise do meio ambiente, que verifica se novos recursos, feitos de resíduos de tintas em pó, podem ser considerados seguros, é comumente feita por meio de estudos de lixiviação e solubilização, conforme as normatizações NBR 10005 e NBR 10006 (BASEGIO *et al.*, 2006). Em alguns trabalhos, o uso desses resíduos misturados na massa da cerâmica para a indústria cerâmica mostra-se uma opção ambientalmente correta sem causar prejuízos na resistência ou nas outras propriedades do produto final.

Na gestão dos resíduos, a tinta em pó gerada em um processo de tratamento demonstrou ser capaz de reduzir significativamente a liberação de elementos tóxicos. Com efeito, utilizando este tipo de sistema, poderia ser reduzido para vários poluentes na água: conseguiu reduzir os cloretos em 92% e quase totalmente os metais pesados, como cobre (96,9%), molibdênio (97,6%), níquel (98,8%) e zinco (95,7%). Por outro lado, permita diminuir o carbono orgânico dissolvido em até 96,9%. Assim, o resíduo final se torna praticamente inerte, ou seja, muito menos agressivo ao meio ambiente (VACCARI; CASTRO, 2019).

No aspecto econômico, a recuperação desses resíduos reduz os custos de descarte e possibilita transformá-los em matérias-primas secundárias, permitindo o avanço do conceito de economia circular. Este reaproveitamento eficiente também gera valor à cadeia produtiva e reforça o conceito de sustentabilidade de uma empresa (VILARINHO *et al.*, 2017; NÓBREGA *et al.*, 2019).

4.9 Plano de Ação Proposto

Com base nas informações obtidas e nas análises feitas nas etapas anteriores, esta parte traz um conjunto de ações práticas para a otimização dos desperdícios verificados no processo de pintura eletrostática. As ações sugeridas almejam aumentar a eficiência operacional, mitigar os impactos ambientais e contribuir para o reaproveitamento sustentável dos insumos utilizados.

Diante desse quadro, a companhia promoveu melhorias significativas em suas rotinas operacionais, priorizando a manutenção preventiva das mangueiras, a implementação de uma rotina de limpeza toda vez que houver troca de cor na cabine colorida e cuidados no armazenamento da tinta em pó, no intuito de reduzir porte de forma substancial a geração de resíduos. Tais alterações e seus efeitos são descritos a seguir no Quadro 3.

Quadro 3 - Situação atual da geração de resíduos no processo de pintura eletrostática

Tipo de Resíduo	Medida de Melhoria Implementada	Geração	Quantidade Estimada
Overspray	Otimização do processo e reaproveitamento do pó	Diária	Aproximadamente ¼ caixa por limpeza
Vazamentos de tinta pelas mangueiras	Substituição preventiva e manutenção das conexões	Raramente	Casos isolados
Tinta contaminada nos filtros	Limpeza rigorosa a cada troca de cor na cabine colorida	Eliminado	Não há mais geração
Tinta empedrada	Reorganização do armazenamento em local seco e protegido	Casos pontuais	Sem quantificação exata

Fonte: Autores (2025)

A partir do Quadro 3, observa-se que a análise quantitativa dos resíduos gerados após as melhorias implementadas na empresa revela uma redução significativa na quantidade de desperdício de tinta. O overspray, que anteriormente causava uma grande quantidade de desperdício devido à tinta não aderente às peças, teve sua geração reduzida em 50%. Anteriormente, o desperdício chegava a 1/2 caixa de tinta por dia, mas, com a melhoria, a quantidade estimada foi reduzida para menos de 1/4 caixa por limpeza, resultando em uma economia considerável de recursos.

Além disso, o desperdício devido a vazamentos nas mangueiras, que antes era recorrente devido a falhas nas conexões e mangueiras desgastadas, foi praticamente eliminado com a substituição preventiva e a manutenção das conexões. Esse tipo de desperdício passou a ser raramente observado, o que reflete uma melhoria importante na eficiência operacional e na redução do desperdício de tinta.

A contaminação dos filtros por tinta, que era gerada pela falta de uma limpeza regular, foi totalmente eliminada, com a implementação de uma rotina de limpeza dos filtros após cada troca de cor. Com isso, o surgimento do resíduo contaminado foi eliminado,

proporcionando uma redução significativa do desperdício e aumentando as chances de reaproveitamento do pó de tinta.

Por último, a "tinta empedrada", em função da exposição à umidade, resultante do armazenamento inadequado também foi drasticamente reduzida. Era antes um desvio pontual, mas com um novo processo de armazenamento adequado, este desperdício foi reduzido, sendo a geração de resíduo neste caso tornar-se extremamente rara.

Essas alterações mostram que a companhia avançou muito no controle dos seus processos operacionais, ocasionando a diminuição considerável da geração de resíduos, melhor aproveitamento dos recursos, e, por decorrência, menores custos operacionais. E, além disso, as melhorias são reflexo de um compromisso com processos mais sustentáveis, de modo que se observa, não somente a redução do impacto ambiental, como também do melhor uso dos insumos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo principal analisar os desperdícios do processo de pintura eletrostática em uma empresa de manufatura, buscando identificar, categorizar e comparar os principais resíduos produzidos antes e após a implementação de melhorias operacionais. Os resultados mostraram uma diminuição da perda de tinta em pó por overspray e melhorias no controle da tinta contaminada com tinta estragada em função do armazenamento inadequado, demonstrando os efeitos positivos da padronização e controle de processo.

A análise dos dados possibilitou confirmar a hipótese de que as práticas sistemáticas de monitoramento e gestão operacional contribuem para a redução das perdas, tanto técnicas quanto ambientais. O estudo mostrou que ajustar corretamente os filtros, guardar os materiais do jeito certo e conscientizar os operadores fazem toda a diferença no desempenho da produção.

Os resultados confirmam o que já dizem outros estudos: quando a empresa cuida bem da gestão dos resíduos, ela ajuda o meio ambiente e ainda fica mais competitiva no mercado.

Apesar de a pesquisa ter sido restrita a um único estudo de caso, os resultados podem servir de referência para outras empresas do mesmo ramo que buscam desenvolver ações de redução de custos, minimização de impactos ambientais e melhores processos de pintura industrial. O estudo acentua a necessidade da maior integração, na prática, de práticas da engenharia de produção com as políticas operacionais e ambientais, gerando ações de maior consciência e mais voltadas à eficiência.

Como diretriz para futuras investigações, pode-se indicar o aprofundamento em análises quantitativas de custo-benefício relacionadas à reutilização dos resíduos da tinta em pó, além de estudos focados na viabilidade técnica da reintegração de determinados resíduos do processo produtivo. Além do mais, pode-se indicar que a aplicação das tecnologias de monitoramento em tempo real e sistemas de automação poderá representar uma nova camada da evolução da gestão ambiental na linha de pintura.

Assim, este estudo não somente confirma a hipótese de que é possível reduzir significativamente os desperdícios pelos preliminares do reaproveitamento e do controle sistemático dos seus resíduos, porém também contribui para a consolidação de práticas mais sustentáveis e efetivas no ambiente industrial. Acredita-se que os resultados aqui apresentados possam servir de base para futuras iniciativas em direção à produção mais limpa e à valorização dos recursos nas organizações.

REFERÊNCIAS

- ADAL-TECNO. Manual de operações: equipamentos de pintura eletrostática a pó, linha Versatic. **Várzea Paulista**, jul. 2023.
- AKAN, M. M. Analysis of natural gas consumption and energy saving measures for powder coating and food processing companies in the Greater Toronto Area (GTA). 2015. **Tese de Doutorado**. Toronto Metropolitan University.
- BASEGIO, T *et al.* Electrostatic painting residues as an alternative raw material for red clay industry. **Waste Management & Research**, v. 24, p. 537–544, 2006.
- BIRIS, A. S *et al.* Parametric study of the Faraday cage effect and its implications on powder coating thickness and penetration. In: **IEEE Industry Applications Conference**, 2002. p. 995–1000.
- BRUXEL, C. E *et al.* Uso de resíduos de tinta em pó como carga mineral para a fabricação de argamassa. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 19, p. 37–45, 2022.
- COSTA, L. M. O; MEDEIROS, Virgílio Almeida; MARTINS NETO, José Henrique. Sistema de aquecimento solar combinado como alternativa para estufas de pintura e secagem na indústria automotiva. In: **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS.**, 2016. p. 1-8.
- DU, Z. *et al.* The review of powder coatings. **Journal of Materials Science and Chemical Engineering**, v. 4, n. 3, p. 54-59, 2016.
- EZEQUIEL, C; BIASSI, M; BERTOLINI, G. Proposta de implantação do PGRS programa de gerenciamento de resíduos na indústria têxtil: um estudo de caso em uma fábrica de camisas

do oeste do Paraná. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 6., 2023, Foz Do Iguaçu. **Anais Do 6º Conresol**. [S. L.: S. N.], 2023.

FENG, E; SUN, J; FENG, L. Regeneration of paint sludge and reuse in cement concrete. In: E3S Web of Conferences. **EDP Sciences**, 2018. p. 02021.

FERREIRA, M. Ionak; VOGLER, Daniel Tarnoski; SILVA, Mayara Cristina Ghedini da. Benefícios do processo de pintura eletrostática em estruturas metálicas como forma de sustentabilidade empresarial. *Anais da Jornada Científica dos Campos Gerais*, v. 17, 2019.

FU, Jing *et al.* Investigation of the recyclability of powder coatings. **Powder Technology**, v. 211, p. 38–45, 2011.

HI-TEC (Indústria Química). HIPHOS F2: Boletim Técnico n. 272. Revisão: 11. 14/04/2022. 3 p.

KISMET, Y.; WAGNER, M. H. Mechanical, thermal, and morphological properties of powder coating waste reinforced acetal copolymer. **Polymer Testing**, v. 82, 2020.

KONDLATSCH, L. H. DT-13 Treinamento Pintura Industrial com Tintas em Pó. [S. l.: s. n.], 2018. 83 p. Manual Técnico. **Revisão** 06, 03/03/2022.

NAKOUZI, S. *et al.* A novel approach to paint sludge recycling: Reclaiming of paint sludge components as ceramic composites. **Journal of Materials Research**, v. 13, n. 1, p. 53–62, 1998.

NOBREGA, J. H. C. *et al.* Sustainability in manufacturing processes: practices performed in metal forming, casting, heat treatment, welding and electrostatic painting. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 26, n. 8, p. 684-697, 2019.

PASK, F. *et al.* Systematic approach to industrial oven optimisation for energy saving. **Applied thermal engineering**, v. 71, n. 1, p. 72-77, 2014.

PEDRO, J. S. *et al.* Estudo preliminar da otimização do processo de pré-tratamento E-coat em uma planta de pintura automotiva. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 5, n. 2, p. 120-129, 2019.

PFITSCHER, E. D; VOSS, B. L. Sustentabilidade ambiental: estudo de caso em uma empresa. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAL - SIMPOI, 14., 2010, São Paulo. **Anais** [do XIV SIMPOI]. São Paulo, 2010.

SANTOS, I. J. A *et al.* Os benefícios da pintura eletrostática para a proteção contra corrosão em peças de aço. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, **São José dos Pinhais**, v. 16, n. 10, p. 24615-24629, 2023.

ŞAHİN, S. A systematic approach to numerical analysis and validation for industrial oven design and optimization—A case study. **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, v. 45, n. 1, p. 36-46, 2025.

SOUSA, G. I. L. *et al.* REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA PINTURA ELETROSTÁTICA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. In: Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP. **Anais**. João Pessoa(PB) Hotel Caiçara, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/simepanais/1069213-REAPROVEITAMENTO-DE-RESIDUOS-DA-PINTURA-ELETROSTATICA-E-SEUS-IMPACTOS-AMBIENTAIS--UMA-REVISAO-BIBLIOGRAFICA>. Acesso em: 07/07/2025

TABORDA, L. W *et al.* PROCESSO DE PINTURA EM PÓ: ANÁLISE DOS CUSTOS OCULTOS EM UMA INDÚSTRIA METALFAB. **Revista Gestão Industrial**, v. 10, n. 4, 2014.

VALENÇA, A. K *et al.* Aplicação da metodologia de análise e melhoria de processos em uma linha de pintura eletrostática numa indústria de móveis de Sergipe. 2017.

VACCARI, M; CASTRO, F. D. Non-conventional stabilisation/solidification treatment of industrial wastes with residual powdered paints. **Waste Management & Research**, v. 37, n. 10, p. 1012-1024, 2019.

VIANA, A. N. C. *et al.* Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações. 1. ed. Campinas, SP: Elektro; Universidade Federal de Itajubá; **EXCEN**; **FUPAI**, 2012.

VILARINHO, C *et al.* Development of a Methodology for Paint Dust Waste Energetic Valorization Through RDF Production. In: ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. **American Society of Mechanical Engineers**, 2017. p. V006T08A063.

YOSRI, M. H; MUHAMAD, P; YATIM, N. H. M. Application of Air Ionizer to Remove Electrostatic Discharge (ESD) Dust for Plastics Material in Automotive Painting Process. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, v. 59, n. 1, p. 29-37, 2019.

ZANETTI, M. C. *et al.* Reuse of paint sludge in road pavements: Technological and environmental issues. **Waste Management & Research**, v. 36, n. 11, p. 1–6, 2018.

Como Referenciar este Artigo, conforme ABNT:

SOUSA, G. I. L; SANTOS NETO, J. F. P; RODRIGUES, M. C. SANTOS, S. F. Reaproveitamento de Resíduos da Pintura Eletrostática em uma Empresa de Manufatura. **Rev. FSA**, Teresina, v. 22, n. 7, art. 8, p. 159-180, jul. 2025.

Contribuição dos Autores	G. I. L. Sousa	J. F. P. Santos Neto	M. C. O. Rodrigues	M. S. F. Santos
1) concepção e planejamento.	X	X	X	X
2) análise e interpretação dos dados.	X	X	X	X
3) elaboração do rascunho ou na revisão crítica do conteúdo.	X	X	X	X
4) participação na aprovação da versão final do manuscrito.	X	X	X	X