

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

**LUAN PINHEIRO IADROXITZ**

**AVALIAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO COM NANOCERÂMICO EM  
SUBSTITUIÇÃO AO FOSFATO DE FERRO UTILIZADA EM LINHA DE PINTURA  
ELETROLÍTICA**

**CAXIAS DO SUL**

**2022**

**LUAN PINHEIRO IADROXITZ**

**AVALIAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO COM NANOCERÂMICO EM  
SUBSTITUIÇÃO AO FOSFATO DE FERRO UTILIZADA EM LINHA DE PINTURA  
ELETROLÍTICA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para a obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Mecânica na  
Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Fassini  
Michels

**CAXIAS DO SUL**

**2022**

**LUAN PINHEIRO IADROXITZ**

**AVALIAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO COM NANOCERÂMICO EM  
SUBSTITUIÇÃO AO FOSFATO DE FERRO UTILIZADA EM LINHA DE PINTURA  
ELETROLÍTICA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para a obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Mecânica na  
Universidade de Caxias do Sul.

**Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.**

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dra Eliena Jonko  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Dr Victor Hugo Velasquez Acosta  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

## RESUMO

Um dos grandes problemas encontrados no mundo moderno é a corrosão. Muito é feito no mundo corporativo para minimizar ou eliminar a existência desse problema. Além desse fator a competitividade entre as empresas vem se acirrando gradativamente nos últimos anos. A disputa por vantagens competitivas, seja ela em processos ou insumos, passa a ser fator determinante na sobrevivência dessas empresas em um mercado tão competitivo. O estudo consiste em analisar e comparar a aplicação do banho de pré-tratamento de uma linha de pintura a pó que atualmente utiliza fosfato de ferro mais desengraxante em comparação ao composto nano cerâmico (bonderite CC42). O bonderite CC42 é um produto líquido de tratamento de superfície, produz camadas de conversão que proporcionam excelente resistência a corrosão e uma excelente base de ancoragem para tintas líquidas, em pó ou eletroforéticas. A alteração do fosfato de ferro para o nano cerâmico vem com o intuito de eliminar a concentração de fósforos no efluente gerado, assim melhorando o fluido gerado para o meio ambiente. O presente trabalho vem ao encontro ao objetivo estratégico de redução energética da linha de pré-tratamento da pintura com a eliminação de um dos estágios atuais de tanque dos banhos. O processo proposto foi validado em conformidade com os testes normativos das seguintes ISO's (ISO 9227 – Salt spray, ISO 1519 – Flexão cilíndrica de mandril, ISO 2409 – Aderência a superfície, ISO 6272 -Resistência ao impacto). O novo produto foi aprovado com boa performance. Este gerou ganhos anuais como, redução do consumo de água em 198.000 litros (33,33%), redução do consumo de energia elétrica com ganho acima de R\$ 72.000,00 (setenta e dois mil reais). O ganho total com o uso do bonderite CC42 foi de aproximadamente R\$ 250.000,00 (duzentos e cinquenta mil reais) por ano.

**Palavras-chave:** Fosfato de ferro. Pintura a pó. Bonderite CC-42. Oxidação.

## ABSTRACT

One of the major problems encountered in the modern world is oxidation. Much is done in the corporate world to minimize or eliminate the existence of this problem. In addition to this factor, in recent years, competitiveness between companies has been gradually intensified. The dispute for competitive advantages, be it either in processes or inputs, it becomes a determining factor for the survival of these companies in such a competitive market. The study consists of analyzing and comparing the application of the pre-treatment bath of a powder coating line that currently uses iron phosphate plus degreaser, compared to the nano ceramic compound (Bonderite CC-42). Bonderite CC42 is a liquid surface treatment product, produces conversion layers that provide excellent corrosion resistance and an excellent anchor base for liquid, powder or electrophoretic paints. The replacement of iron phosphate for nano ceramic aims the elimination of phosphorus in the effluents, thus improving the fluid generated for the environment. The present work meets the strategic objective of reducing energy in the paint pre-treatment line by eliminating one of the current bath tank stages. The proposed process was validated in accordance with the normative tests of the following ISO's (ISO 9227 - Salt spray, ISO 1519 - Cylindrical bending of mandrel, ISO 2409 - Adhesion to surface, ISO 6272 – Impact resistance). The new product was approved with good performance. This resulted in annual gains such as decrease in water consumption of 198,000 liters (33.33%) and a decrease in electricity consumption of more than R\$ 72,000.00 (seventy-two thousand reais). The total annual gain with the use of Bonderite CC 42 was approximately R\$ 250,000.00 (two hundred and fifty thousand reais).

**Keywords:** Iron phosphate. Powder painting. Bonderite CC 42. Oxidation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de Pintura Eletrolítica.....	10
Figura 2 – Diagrama de polarização da ação do inibidor anódico. (a) com inibidor e (b) sem inibidor.....	16
Figura 3 – Diagrama de polarização da ação do inibidor catódico. (a) com inibidor e (b) sem inibidor.....	16
Figura 4 – Tratamentos em chapas.....	20
Figura 5 – Processo de fosfatização sequência dos banhos.....	20
Figura 6 – Reações do ácido fosfórico com o ferro do aço.....	21
Figura 7 – Visualização da morfologia da camada nanocerâmica comparada com o fosfato de ferro sobre o aço.....	23
Figura 8 – Espessura da camada nanocerâmica comparada com as camadas obtidas pelos diferentes processos de fosfatização.....	24
Figura 9 – Deposição da camada de conversão em função do tempo.....	24
Figura 10 – Organograma da pintura.....	26
Figura 11 – Etapas projeto.....	29
Figura 12 – Modelo de teste de aderência.....	31
Figura 13 - Classificação de grau de aderência conforme NBR 11003.....	31
Figura 14 – Mandril cônico.....	32
Figura 15 - Materiais para verificação de concentração de Bonderite.....	33
Figura 16 – Corpo de prova pintado branco.....	35
Figura 17 – Resultados testes de aderência superficial.....	36
Figura 18 – Teste flexão cilíndrica Reprovado X Aprovado.....	37
Figura 19 – Testes normativos nos quadros de comando.....	37
Figura 20 – Estágios 1, 2 e 3 dos tanques.....	38
Figura 21 – Reação do Bonderite CC 42 em paradas no banho.....	40
Figura 22 – Graus de GR.....	43
Figura 23 – Medições de energia aquecedor indutivo.....	49
Figura 24 – Amostra reprovada alongamento.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados testes ISO'S.....	36
Tabela 2 – Resultados práticos por coloração.....	39
Tabela 3 – Resultados dos testes ISO'S por percentual de Bonderite CC 42 mínimo.....	41
Tabela 4 – Resultados dos testes ISO'S por percentual de Bonderite CC 42 máximo.....	42
Tabela 5 – Concentração de óleos e graxas.....	44
Tabela 6 – Consumo de água fosfato de ferro x Bonderite CC 42.....	46
Tabela 7 – Custos dos produtos fosfato de ferro e desengraxante.....	47
Tabela 8 – Custos dos produtos Bonderite CC 42 - 1.....	47
Tabela 9 – Custos dos produtos Bonderite CC 42 - 2.....	47
Tabela 10 – Cálculo de redução energética 1.....	48
Tabela 11 – Potência ativa máxima diária.....	48
Tabela 12 – Cálculo de redução energética 2.....	50

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	11
1.2	OBJETIVO GERAL.....	12
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1	CORROSÃO.....	13
2.1.1	Classificação da corrosão.....	13
2.1.2	Prevenção contra corrosão.....	14
2.2	INIBIDORES DA CORROSÃO.....	15
2.2.1	Inibidores anódicos.....	15
2.2.2	Inibidores catódicos.....	16
2.1.3	Inibidores de adsorção.....	17
2.3	NORMAS PARA AMOSTRAS TESTADAS.....	17
2.3.1	Metodologia.....	18
2.4	PRÉ-TRATAMENTOS PARA PINTURA.....	19
2.4.1	Preparação de superfície do aço.....	19
2.4.2	Processo de fosfatização.....	19
2.5	PASSIVAÇÃO.....	22
2.6	FOSFATIZAÇÃO COM MANGANÊS POR IMERSÃO.....	22
2.7	PROCESSOS ALTERNATIVOS DE PASSIVAÇÃO.....	23
2.8	PINTURA.....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
3.1	DESCRIÇÃO DETALHADA DO TRABALHO.....	27
3.2	RECURSOS.....	30
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....</b>	<b>35</b>
4.1	APLICAÇÃO DO BONDERITE EM EMPRESA TERCEIRA.....	35
4.2	MONTAGEM DO BANHO.....	38
4.3	TESTES PRÁTICOS .....	39
4.4	CONCENTRAÇÕES E TESTES NORMATIVOS.....	41



4.5	TROCA DO BANHO E ENXÁGUE.....	44
4.6	CONSUMOS.....	46
4.6.1	Consumo de água.....	46
4.6.2	Consumo produtos nanocerâmicos.....	46
4.6.3	Consumo energético aquecedor indutivo.....	48
5	CONCLUSÕES.....	52
6	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
	ANEXO A - RELATÓRIO ÁGUA DO POÇO.....	57

## 1. INTRODUÇÃO

O mundo dos negócios está cada vez mais competitivo. Novas tecnologias e o vasto desenvolvimento logístico dos últimos anos tem encurtado distâncias e aproximado competidores geograficamente separados. A disputa pelos clientes torna-se cada vez mais acirrada e as melhorias contínuas de processos e produtos tornam-se, cada vez mais, atividades comuns na gestão das empresas.

A disputa do mundo corporativo fez com que a implementação de melhorias contínuas deixasse de ser um diferencial comercial para ser uma necessidade básica. As companhias que não possuem um setor especializado de melhoria contínua acabam se defasando ao longo do tempo e perdendo inovações tecnológicas, mudanças de processos, inovações em produtos e assim perdem competitividade. A melhoria contínua vem ao encontro da qualidade e satisfação do cliente. Um produto, processo ou serviço sempre pode ser estudado e aprimorado, e assim proporcionar ganhos para a empresa e seu cliente. Para Falconi “Qualidade total são todas aquelas dimensões que afetam a satisfação das necessidades das pessoas e, por conseguinte, a sobrevivência da empresa” (Falconi, 2014, p.39).

Dentro desse ambiente competitivo e globalizado está a Empresa Legrand, de origem francesa e presente em todos os continentes do globo. A Legrand é uma empresa multinacional fundada em 1865, na cidade de Limoges, na França. A serviço do crescimento sustentável, tem como foco a produção de componentes elétricos como tomadas, interruptores, nobreaks, extensões, painéis de controle, quadros de distribuição e painéis elétricos, entre outros produtos. O atual objetivo da Legrand é reforçar a sua liderança em infraestrutura elétrica e digital e se tornar protagonista em inteligência elétrica com alta eficiência energética e soluções inovadoras.

No Brasil a maior planta (também chamada de site) da Legrand fica em Caxias do Sul – RS. Nesse site são fabricadas todas as linhas metálicas de quadros de comando, quadros de distribuição, caixas de passagens, painéis de comando e controle, racks, acessórios e kits de barramentos. Além disso, são produzidos os componentes de injeção plástica como tomadas, interruptores, extensões de cabos, entre outros produtos.

A Legrand em Caxias do Sul possui três (3) fábricas, mais dois pavilhões de almoxarifado e expedição junto com um novo pavilhão que foi finalizado em 2021. Nesse novo pavilhão estão todas as ferramentas de moldes de injeção e ferramentas de estamparia.

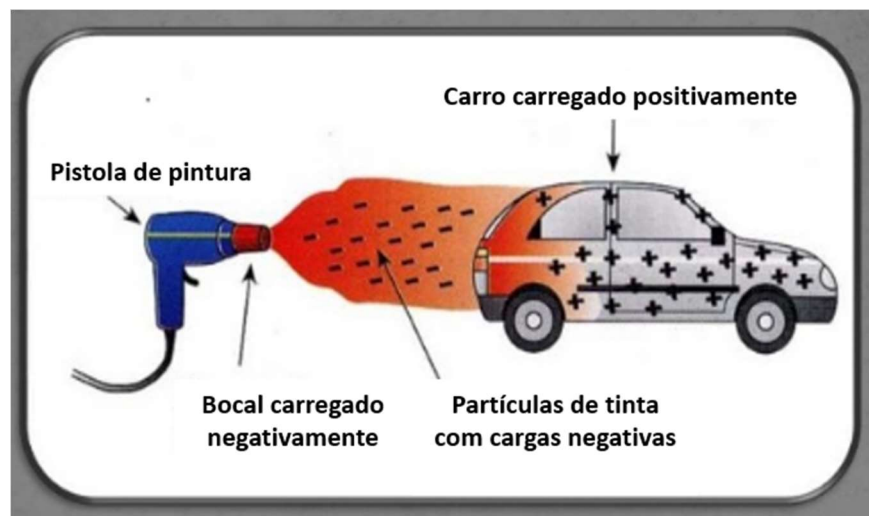
As três fábricas em Caxias do Sul produzem famílias de itens distintos proporcionando tecnologias diferentes em cada uma delas. A fábrica 1 é dedicada a montagens manuais de tomadas e interruptores, em sua maioria. Já a fábrica 2, onde será feito o trabalho, é dedicada à metalurgia, trata-se da fábrica onde são produzidos os quadros de comando elétricos e quadros de distribuição

elétricos. Por fim, na fábrica 3 ocorre todas as injeções plásticas e montagens automáticas, nela também estão alocadas as famílias de tomadas e interruptores.

Dentre as diversas linhas produtivas do site, a linha de pintura eletrolítica se destaca por ser a de maior volume produtivo da Fábrica 2. Também é importante destacar que a linha de pintura, se comparada com as demais, contém um número maior de pessoas alocadas, sete (7) MOD (mão de obra direta).

A linha de pintura eletrolítica ou eletrostática utiliza um processo diferenciado por meio de cargas elétricas positivas e negativas para a fixação da tinta. A tinta que é expelida pela pistola (*Paint Gun*) é carregada eletricamente deixando suas partículas energizadas com carga negativa. Por outro lado, a superfície que será pintada é energizada com carga positiva. Dessa forma, a tinta adere perfeitamente à superfície da peça metálica resultando num processo com aderência elevada, se comparada com os demais processos de pintura. O processo de pintura eletrolítica é explicado de forma esquemática na Figura 1.

Figura 1 – Processo de Pintura Eletrolítica



Fonte: Adaptado de (ufif.br, 2022)

Existe um processo que antecede à pintura propriamente dita chamado de “pré-tratamento da pintura”. Esse processo, também conhecido como “banho da pintura”, é subdividido em três (3) estágios/tanques na Empresa Legrand.

- Tanque 1 – Responsável pela remoção da maior parte dos óleos e graxas que as peças possuem. Trabalha com uma concentração de 80 % de desengraxante e 20 % de fosfato de ferro. A temperatura de trabalho é de 50 a 60 °C.
- Tanque 2 – Responsável pela preparação da superfície, dando proteção anticorrosiva e preparando a superfície para o recebimento da tinta. Trabalha com uma concentração de 20 % de desengraxante e 80 % de fosfato de ferro. A temperatura de trabalho é de 50 a 60 °C.

- Tanque 3 – Não tem adição de produto, visto que é utilizado como enxágue para limpar as peças. Trabalha em temperatura ambiente.

Como visto no início desta sessão os processos evoluem na linha produtiva. Sendo assim, surge no mercado um novo processo de pré-tratamento para a pintura eletrostática chamado Bonderite.

O Bonderite CC 42 é um sistema de pré-tratamento cerâmico à base de fluorozircônio, que proporciona um revestimento nanocerâmico em substratos metálicos, especialmente formulado para uso em superfícies de aço, alumínio e zincados. Um ponto muito importante para a questão ambiental é que esse produto nanocerâmico é totalmente isento de fosfato de ferro, COD, BOD e metais pesados. A solução de pré-tratamento utilizando Bonderite também promete que em sua aplicação seja consumido menos água se comparado a utilização dos banhos com fosfato de ferro e desengraxante e assim sendo, consumindo menos energia para aquecer o sistema e menos espaço físico, visto que a necessidade de tanques diminui.

### 1.1. JUSTIFICATIVA

A competitividade no mercado de componentes elétricos está cada dia mais acirrada, fazendo com que as empresas necessitem de processos cada vez mais estáveis, rápidos, eficientes e com menores desperdícios. Atualmente, um dos processos da Empresa Legrand, de Caxias do Sul, que pode gerar um ganho monetário significativo é a linha de pintura eletrolítica situada na Fábrica 2, visto a grande quantidade de pessoas alocada e seu alto volume de peças produzidas por ano.

Dessa forma, o presente trabalho visa melhorar o processo de pré-pintura corroborando com o tema da melhoria contínua. Essa melhoria gerou um ganho financeiro, ganho ambiental, pois reduz a utilização de água, de energia elétrica e diminui também a utilização do fosfato de ferro. Unindo os ideais das áreas de processos, qualidade e manutenção da Empresa Legrand, descritos abaixo, é possível identificar um propósito bem sólido com a alteração dos componentes utilizados no banho de pré-tratamento. Os propósitos de cada área podem ser vistos a seguir:

- processo: ganho financeiro, estabilidade do processo, ganho logístico;
- qualidade: baixo índice de reprova, alto índice de aprovação nos testes normativos, redução de efluente e componentes descartados no meio ambiente;
- manutenção: menor quantidade de trocas de banhos, redução do consumo energético, menor quantidade de manutenções.

## 1.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho foi realizar o comparativo entre os banhos de pré-tratamento da pintura eletrolítica com os componentes de fosfato de ferro e desengraxante versus o banho de pré-tratamento utilizando o Bonderite (nanocerâmico) dentro da Empresa Legrand, na cidade de Caxias do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul.

## 1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumprir o objetivo geral, os objetivos específicos abaixo foram desenvolvidos:

- realizar testes em amostras padrões seguindo as ISO'S 9227, 1519, 2409 para validar conceito com o Bonderite CC 42;
- realizar os testes de menor e maior concentração de Bonderite CC 42;
- definir concentrações ideais de Bonderite CC 42 nos banhos de pré-tratamento;
- efetuar comparativo financeiro.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CORROSÃO

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação física, química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A corrosão, sendo em sua maioria um processo espontâneo, está constantemente alterando as propriedades físicas dos materiais metálicos, danificando os mesmos, de modo que não consigam mais satisfazer os fins a que eles se destinam. A durabilidade e desempenho dos materiais é diretamente afetada quando ocorre o processo corrosivo. Os danos causados pelas ações físico-químicas entre o material e o meio em que se encontram podem deteriorar os metais levando a ações indesejadas como: desgastes, transformações químicas ou modificações estruturais, tornando o material inadequado para uso.

Entre todos os materiais no meio industrial que sofrem corrosão, o aço carbono é o mais utilizado, e conseqüentemente, o que mais sofre com os seus efeitos. Cerca de 20% de todo o aço produzido é destinado para a reposição ou substituição de peças, equipamentos ou instalações que foram corroídas. A aparência da corrosão do metal está diretamente ligada a forma que essa corrosão pode ocorrer no aço carbono, sendo elas: uniforme, galvânica, por frestas e por pite. (FRAUCHES-SANTOS, et al., 2014)

#### 2.1.1 Classificação da corrosão

O processo corrosivo pode ocorrer de diversas formas, dependendo do metal, do meio e das condições de corrosão. Todas as formas de corrosão que se encontram podem ser classificadas de acordo com o mecanismo, morfologia, natureza do meio corrosivo e o estado de tensão do metal. Dependendo da natureza do meio corrosivo, a corrosão por sua vez, pode ocorrer mediante mecanismos químicos ou eletroquímicos.

Corrosão química: ocorre quando os metais estão expostos aos meios que não são eletrolíticos, como por exemplo: gases secos aquecidos ou não, gases úmidos aquecidos acima de 100 °C, solventes orgânicos anidros, sais fundidos isentos de água, metais fundidos, entre outros.

Corrosão eletroquímica: ocorre quando os metais estão expostos aos meios que são eletrolíticos, tais como: ar atmosférico úmido, águas naturais salgadas e doces, solos úmidos, soluções químicas aquosas, entre outros. (MATLAKHOV; MATLAKHOVA, 2021)

### 2.1.2 Prevenção contra corrosão

O uso dos revestimentos protetores são os métodos mais comuns de prevenção à corrosão. Esses revestimentos incluem filmes orgânicos, como as tintas, revestimentos metálicos e não metálicos inorgânicos, como nanocerâmicos, vidros e revestimentos de conversão. Esses métodos protegem o substrato metálico por basicamente três mecanismos: inibição química, proteção galvânica e proteção por barreira. (DAVIS, 2000)

A proteção por barreira é o tipo de proteção que ocorre quando o substrato metálico é completamente isolado do ambiente pelo revestimento. Já a inibição química é obtida através de adição de inibidores de corrosão, como pigmentos na formulação de tintas. Já a proteção galvânica como o nome mesmo já identifica, ocorre quando o substrato metálico é revestido por um metal mais ativo, fazendo com que o substrato atue como cátodo na célula de corrosão, ficando protegido.

Ao utilizar metais como revestimento contra a corrosão, a proteção nesses materiais acontece devido a formação de películas de óxido que aderem na superfície do metal. Dentre elas, as mais comuns no meio industrial são: alumínio, cromo, estanho e o mais usual o zinco, pelos processos de galvanização. No entanto, nos revestimentos inorgânicos não-metálicos a proteção ocorre por mecanismos mais individuais, sendo os três mais utilizados: a anodização, a cromatização e a fosfatização. Esses três revestimentos, servem também como pré-tratamentos para a aplicação posterior de tinta, aumentando a adesão do revestimento, além de aumentar a resistência contra a corrosão. (OLIVEIRA, 2016)

Devido aos graves problemas ambientais gerados pelos tratamentos superficiais que utilizam a fosfatização, com grandes gerações de efluentes, e pela cromatização devido ao íon Cr(VI) ser altamente tóxico e cancerígeno, novas tecnologias mais limpas surgem para substituir tais técnicas, sendo o uso dos nanocerâmicos e a sinalização, duas das principais alternativas. (BERTOL, 2019).

Existem diversos fatores para serem considerados no momento de escolha do revestimento mais adequado, tais como: combinações, condições e relações entre materiais, tipo de corrosão que a peça está mais propensa a desenvolver, aplicação da peça, condições ambientais que a peça será exposta como temperatura, umidade, pressão, o tempo que a peça será exposta ao ambiente corrosivo e qualidade da superfície da peça. (BLANK, 2018)

## 2.2 INIBIDORES DE CORROSÃO

Um dos grandes problemas encontrados nos metais é a corrosão, deve-se sempre que possível tentar minimizar esse efeito. Uma das maneiras de eliminá-lo é utilizando um inibidor de corrosão, que por sua vez é uma substância que adicionada em pequenas concentrações no banho de pré-tratamento retarda a corrosão do metal. Os inibidores de corrosão que existem podem ser divididos em três categorias: anódicos, catódicos e de adsorção. A eficácia dos inibidores de corrosão pode ser medidas pela câmara de névoa salina (Salt spray), polarização potenciodinâmica, espectroscopia de impedância eletroquímica, medidas do potencial de eletrodo e medidas de perda de massa. (SILVEIRA PERES, 2010, p. 11)

### 2.2.1 Inibidores anódicos

Esse tipo de inibidor, na maioria dos casos, forma um filme aderente e insolúvel, devido a reação que ocorre com o produto de corrosão inicial. Na Figura 2, pode-se ver no diagrama de polarização o comportamento típico desses inibidores.

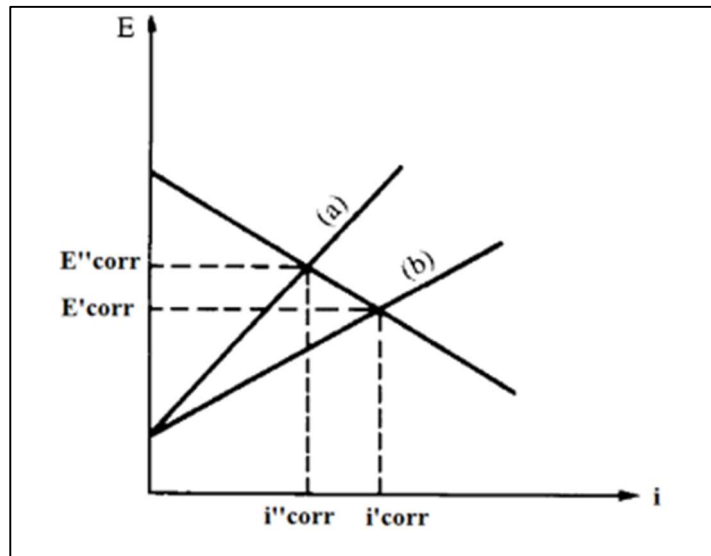
Também conhecidos como passivadores, esses inibidores modificam o potencial de corrosão na ordem de dezenas de volts para a direção nobre. Eles agem formando um filme protetor de óxido que cria uma barreira, que não permite o contato do agente corrosivo com o metal.

Como exemplos de inibidores anódicos se podem citar: silicatos, fosfatos terciários de metais alcalinos, carbonatos e boratos que reagem com os íons metálicos formados no ânodo, originando produtos insolúveis que tem ação inibidora.

Na prática deve-se cuidar da concentração de inibidor anódico, é importante que não fique abaixo da concentração mínima requerida. Se esta concentração for baixa, o produto protetor insolúvel não se formará em toda extensão da superfície do metal, ocasionando a corrosão localizada nas áreas não protegidas. (SILVEIRA PERES, 2010, p. 11)



Figura 2 – Diagrama de polarização da ação do inibidor anódico. (a) com inibidor e (b) sem inibidor.



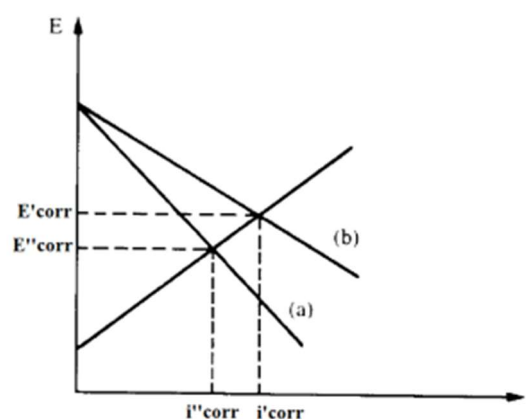
Fonte: (SILVEIRA PERES, 2010, p. 12)

### 2.2.2 Inibidores Catódicos

Por sua vez os inibidores catódicos inibem a reação química que gera a corrosão através da diminuição da corrente devido a formação de compostos insolúveis que precipitam sobre a área catódica impedindo a condução de elétrons e a difusão de oxigênio. O comportamento desses inibidores pode ser visto no diagrama de polarização que está na Figura 3.

Como exemplo desses inibidores cita-se o sulfato de magnésio, zinco e níquel. Os metais destes sulfatos formam hidróxidos insolúveis na área catódica, diminuindo ou cessando o processo corrosivo. (SILVEIRA PERES, 2010, p. 12)

Figura 3 – Diagrama de polarização da ação do inibidor catódico. (a) com inibidor e (b) sem inibidor.



Fonte: (SILVEIRA PERES, 2010, p. 13)

### 2.2.3 Inibidores de adsorção

Esses inibidores em alguns casos podem diminuir mais a reação catódica e noutros a anódica. São constituídos por compostos orgânicos que formam uma camada adsorvida na superfície do metal. Essa camada, por sua vez, bloqueia a descarga de  $H^+$  e a dissolução de íons metálicos. Como esses inibidores atuam tanto na área anódica, quanto na catódica, ambas as reações que geram corrosão tendem a ser retardadas.

Os dois princípios típicos de adsorção de um inibidor sobre a superfície de um metal são a física e a química (quimiosorção).

A adsorção física ocorre devido à atração eletrostática entre os íons ou dipolos dos inibidores e a superfície eletricamente carregada do metal. As forças envolvidas neste tipo de adsorção são geralmente fracas podendo ocorrer facilmente a dessorção. Este processo tem baixa energia de ativação, é relativamente independente da temperatura e os íons não estão diretamente em contato com a superfície metálica (uma camada de água separa os íons do metal).

A adsorção química é uma das interações mais importantes entre a superfície do metal e as moléculas do inibidor. Na adsorção química as espécies adsorvidas estão em contato com a superfície do metal. É um processo lento, dependente da temperatura, possui alta energia de ativação e não é um processo completamente reversível. A tendência de formar uma ligação forte e coordenada aumenta com o decréscimo da eletronegatividade das moléculas.

Entre alguns exemplos de inibidores de adsorção citam-se os aldeídos, aminas, compostos heterocíclicos além de coloides de sabões de metais pesados. (SILVEIRA PERES, 2010, p. 13)

## 2.3 NORMAS PARA AMOSTRAS TESTADAS

Especifica tanto o procedimento para exame preliminar de uma única amostra, conforme recebido para teste, quanto ao procedimento para preparar uma amostra de teste por mistura e redução de uma série de amostras representativas de uma remessa ou volume de tinta, verniz ou produto relacionado. NOTA: As amostras do produto a ser testado são consideradas conforme a ISO 15528 (ISO 1513, 2010).

Para muitos dos métodos de teste mais amplamente utilizados para tintas e vernizes, o tipo de painel usado e a maneira particular como ele é preparado para uso podem afetar significativamente os resultados do teste. Consequentemente, é importante padronizar com o maior cuidado possível, tanto os painéis, quanto os procedimentos utilizados para preparar os painéis antes da pintura. Não é possível incluir em uma Norma Internacional todos os tipos de painéis e

preparação necessários para teste de pintura. Esta Norma Internacional descreve os procedimentos de preparação que são conhecidos por serem reprodutíveis e fornece orientação adicional nos casos em que ainda pode haver dúvidas devido à falta de uniformidade internacional do procedimento (ISO 1514, 2016).

### **2.3.1 Metodologia**

Especifica um procedimento de teste empírico para avaliar a resistência de um revestimento de tinta, verniz ou produto relacionado a rachaduras e/ou desprendimento de um substrato de metal ou plástico quando submetido à flexão em torno de um mandril cilíndrico sob condições padrão. Para um sistema de várias demãos, cada demão pode ser testada separadamente ou o sistema completo pode ser testado. O método especificado pode ser realizado como um teste de “aprovado/reprovado”, realizando o teste com um único tamanho de mandril especificado, para avaliar a conformidade com um requisito específico; ou repetindo o procedimento usando mandris sucessivamente menores para determinar o diâmetro do primeiro mandril, sobre o qual, o revestimento racha e/ou se desprende do substrato (ISO 1519, 2011).

Este documento descreve métodos para medir a espessura de revestimentos aplicados a um substrato. Métodos para determinar a espessura do filme úmido, espessura do filme seco e a espessura do filme não curado, as camadas de pó são descritas. Para cada método descrito, este documento fornece uma visão geral do campo de aplicação, padrões e a precisão (ISO 2808, 2019).

O produto ou sistema em teste é aplicado com espessura uniforme, em painéis planos de textura de superfície uniforme. Após a secagem/cura, as propriedades elásticas do filme de pintura são determinadas pela primeira vez colocando o painel revestido entre dois anéis, ou seja, o anel de retenção e a matriz de trefilação. O painel é então empurrado por um hemisférico, a uma taxa constante no dado, de modo a formar uma forma de cúpula com o revestimento do lado de fora. A deformação é aumentada a uma profundidade acordada entre as partes interessadas, ou até que o revestimento racha e/ou destaca-se do substrato, e o resultado é então avaliado (ISO 1520, 2006).

## 2.4 PRÉ-TRATAMENTOS PARA PINTURA

### 2.4.1 - Preparação de superfície do aço

As tintas aderem aos metais por ligações físicas, químicas ou mecânicas.

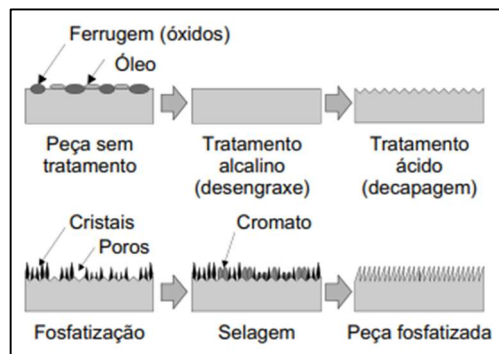
- Física: interação das moléculas da tinta com as moléculas do metal.
- Química: interação das moléculas da tinta com as moléculas do metal.
- Mecânica: interação ocorre de maneira física ou química, mas necessita de uma certa rugosidade na superfície do metal.

Preparar a superfície do aço significa executar operações que permitam obter limpeza e rugosidade. A limpeza elimina os materiais estranhos, como contaminantes, oxidações e tintas mal aderidas, que poderiam prejudicar a aderência da nova tinta. A rugosidade aumenta a superfície de contato e ajuda a melhorar essa aderência. Os relatos de Moohammadloo e Banczek confirmam que o aumento do tempo de imersão promove uma camada de conversão mais compacta e espessa, tornando bastante uniforme o perfil do revestimento. (Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA)

### 2.4.2 Processos de fosfatização

Esse processo consiste na criação de cristais de fosfato na superfície metálica, convertendo-a de metálica a não metálica. A fosfatização também melhora a aderência de tintas e torna a superfície mais resistente a corrosão. O processo de fosfatização por si só aumenta a resistência à corrosão do metal em torno de 5 vezes. Esse procedimento unido com a pintura (2 demãos de tinta sintética) aumenta a proteção à corrosão em torno de 700 vezes. Na Figura 4 é possível verificar as etapas de tratamentos em chapas metálicas. (Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA).

Figura 4 – Tratamentos em chapas



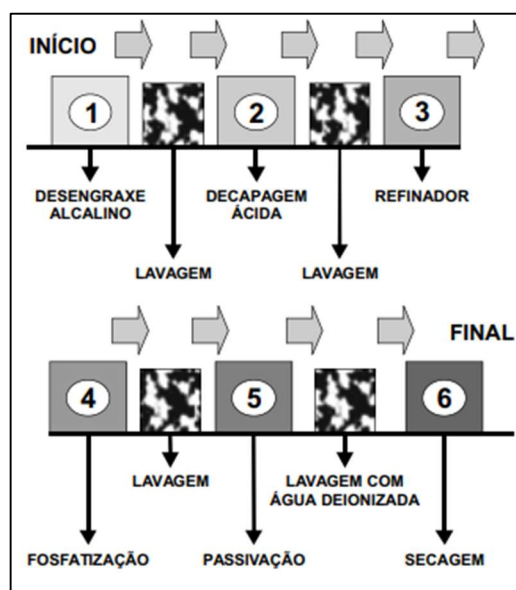
Fonte: (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003, p. 19)

### Fosfato por imersão ou spray

São os melhores métodos de limpeza e preparação de superfície em processo industrial. A Figura 5 identifica as etapas da fosfatação. Esse método é realizado segundo os seguintes estágios:

- 1 – Desengraxe alcalino / lavagem
- 2 – Decapagem ácida / lavagem
- 3 – Refinador
- 4 – Fosfatação / lavagem
- 5 – Passivação / lavagem com água deionizada
- 6 – Secagem

Figura 5 – Processo de fosfatação sequência dos banhos



Fonte: (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003, p. 20)

Segundo o Prof. Vicente Gentil, em seu livro “Corrosão”, os processos de fosfatização se classificam quanto a:

Composição do banho:

- fosfatização a quente – acima de 80 °C;
- fosfatização tépida – entre 50 e 80 °C;
- fosfatização a frio – abaixo de 50 °C.

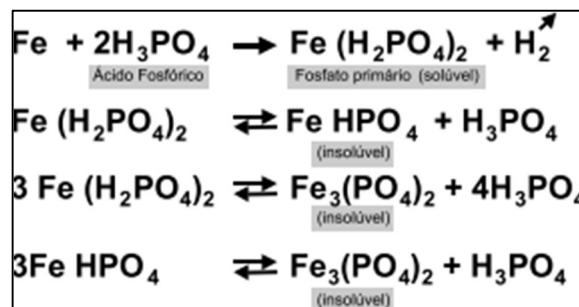
Tempo de permanência no banho:

- fosfatização normal – acima de 30 minutos;
- fosfatização acelerada – abaixo de 30 minutos;
- fosfatização rápida – abaixo de 5 minutos.

Método de aplicação da fosfatização:

*Pulverização* – O fosfato pode ser aplicado de forma dinâmica ou estática, a pulverização por sua vez é o modo de aplicação dinâmico. Nesse processo o fosfato é pulverizado através de bicos injetores sobre as peças que estão passando em uma monovia de velocidade controlada. A troca do produto é feita de maneira muito mais rápida, e a quantidade de produto utilizado é muito menor, se comparado com os processos estáticos, por causa do impacto do jato sobre as peças. Durante o processo de fosfatização ocorrem as seguintes reações do ácido fosfórico com o ferro do aço, como pode ser visto na Figura 6: (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003, p. 21)

Figura 6 – Reações do ácido fosfórico com o ferro do aço



Fonte: (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003, p. 21)

Tipos de fosfatos:

Atualmente são utilizados os seguintes fosfatos como ilustra o Quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de fosfatos e suas diferenças

Tipo de fosfato	Processo	Coloração	Propriedades
Fosfato de ferro	Pulverização	Cinza claro ou Cinza escuro	Melhor aderência
Fosfato de zinco	Imersão ou Pulverização	Azulada	Melhor resistência anticorrosiva
Fosfato de zinco, manganês e níquel	Imersão	Cinza escuro à Marrom escuro	São chamados de fosfatos tricationicos, com excelente resistência anticorrosiva e aderência. São fosfatos de última geração.

Fonte: (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003, p. 22)

## 2.5 PASSIVAÇÃO

Após o processo de fosfatização é necessário fazer o processo de passivação, que tem por finalidade selar os poros deixados na camada de fosfato. Esse processo de soluções apassivantes é constituído por ácido crômico ou ácido crômico/fosfórico, geralmente a 60 °C. Além de selar os poros, esse processo completa as camadas de fosfato melhorando a proteção anticorrosiva.

Esta etapa final de passivação também é chamada de “selagem com cromo”. Hoje em dia, o cromo hexavalente (Cromo VI) sofre restrições e em seu lugar é usado taninato para selar ou apassivar (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003, p. 22).

## 2.6 FOSFATIZAÇÃO COM MANGANÊS POR IMERSÃO

Com a pesquisa sobre o tratamento de superfícies de armamento leve do Exército Brasileiro, postada na Revista De Ciências Exatas e Engenharias (2021), foi possível identificar através dos resultados obtidos pela pesquisa que não é possível avaliar as variáveis do processo separadamente, pois elas possuem um efeito de interação muito significativo. A seguir estão as três variáveis selecionadas com as suas particularidades no processo:

- Tempo: é um fator de extrema importância para o ganho de massa do revestimento e também para o refinamento dos cristais.
- Concentração de reagente fosfatizante: esse fator possui um extremo impacto na cristalização bem definida dos revestimentos, na contribuição de manganês nos cristais e na obtenção de camadas com elevado peso.

- Concentração de íons ferrosos: a concentração de íons ferrosos, por sua vez, contribui para o aparecimento de granulações mais grosseiras nos revestimentos fosfáticos. (PEIXOTO et al., 2021)

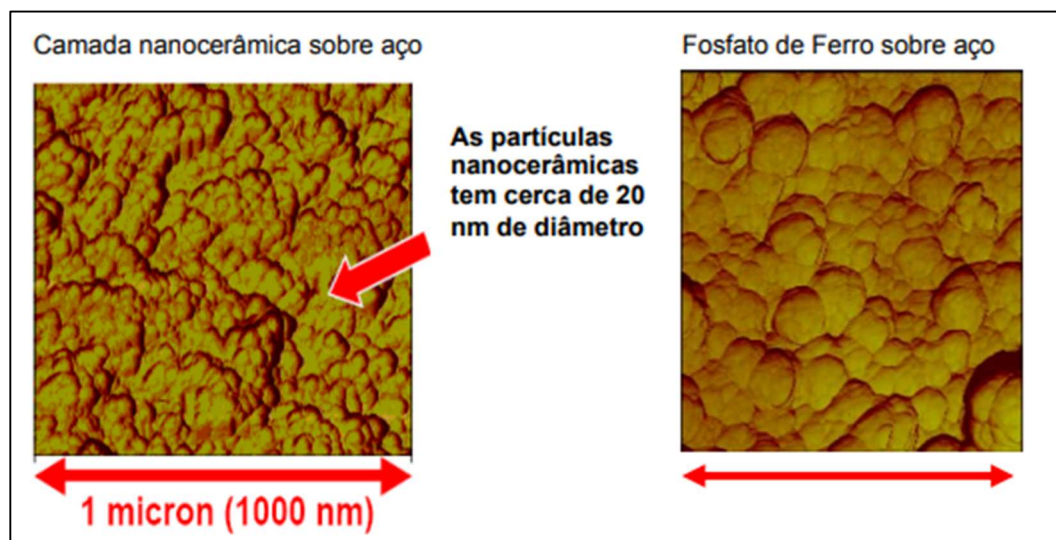
## 2.7 PROCESSOS ALTERNATIVOS DE PASSIVAÇÃO

Nanotecnologia é um conceito relativamente novo, para tratamento em superfícies metálicas consiste em deposição de nanopartículas. No caso específico ocorre deposição de partículas nanoestruturadas que, após sua deposição e secagem, assumem uma característica nanocerâmica em virtude de a camada ser constituída de óxidos. Essa tecnologia permite a aplicação de uma camada fina e uniforme, mantendo a aderência, flexibilidade, ausência de efeito revelador de fundo e aumento da resistência à corrosão, se comparado com o fosfato de ferro e de zinco convencional.

As partículas da camada de conversão são chamadas de nanocerâmicas. Devido a sua estrutura, essas partículas possuem um tamanho na escala do nanômetro, ficando em torno de 20 nm de diâmetro. Essa camada pode ser visualizada através da AFM (Atomic Force Microscopy), conforme mostrado na Figura 7. Já a Figura 8 mostra a espessura da camada nanocerâmica comparada com as camadas obtidas nos diferentes processos de fosfatização.

O processo nanocerâmico é isento de metais pesados e componentes orgânicos. Ele utiliza uma composição à base de flúor e/ou zircônio e/ou titânio para produzir uma camada nanocerâmica sobre substratos metálicos (TESTA, 2005).

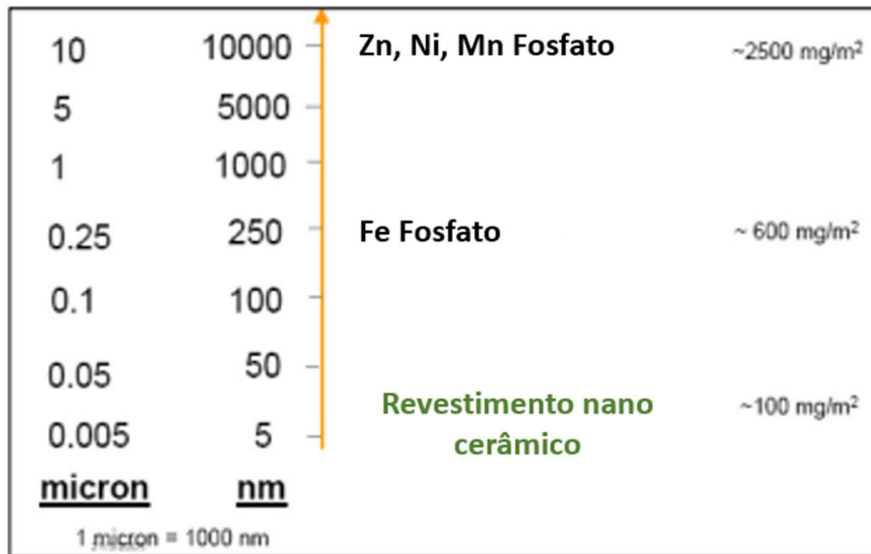
Figura 7 – Visualização da morfologia da camada nanocerâmica comparada com o fosfato de ferro sobre o aço



Fonte: TESTA, 2005



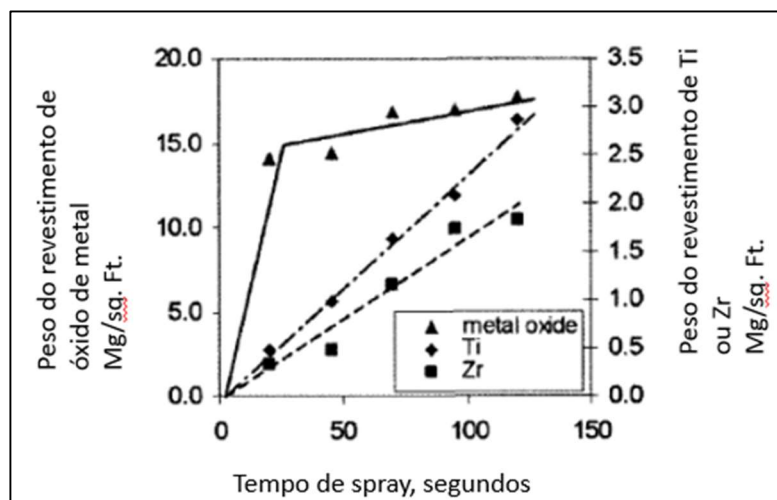
Figura 8 – Espessura da camada nanocerâmica comparada com as camadas obtidas pelos diferentes processos de fosfatização



Fonte: TESTA, 2005

Droniou relatou em sua publicação que revestimentos de conversão nanocerâmicas são formados em tempos reduzidos. A Figura 9 mostra que a formação do depósito de nanopartículas de óxido de metal atinge o limite máximo nos primeiros 20 a 30 segundos. Após esse tempo, a formação dessas partículas se mantêm relativamente constantes e parecem seguir um mecanismo limitado de deposição, no entanto, a deposição dos componentes zircônio e titânio continuam a aumentar linearmente. Com o passar do tempo, prevê-se a deposição de Zr e Ti na matriz da camada de óxido de metal, selando os espaços vazios entre as partículas (DRONIOU, 2005).

Figura 9 – Deposição da camada de conversão em função do tempo.



Fonte: (Adaptada de DRONIOU, 2005)

## 2.8 PINTURA

A pintura eletrostática consiste em um processo que pode ser a pó ou líquido e usa, basicamente, a atração de cargas opostas dentro da tinta e da estrutura a qual se pintará, essa geralmente metálica. Os três tipos de tinta a pó eletrostático existentes são o poliéster (mais utilizada para ambientes externos), o epóxi (grande resistência à corrosão) e a híbrida (uma mistura das duas).

As vantagens da aplicação da tinta em pó são: menor rejeição; menor espaço físico necessário; menor desperdício de materiais; baixos custos de energia; treinamento inferior e menores custos trabalhistas; redução dos custos de eliminação de resíduos; mais eficiência nas operações de limpeza; e acabamentos mais uniformes. (TABORDA, 2014) (UTECH, 2002)

As principais etapas do processo de pintura são :

a) pré-tratamento: a etapa de pré-tratamento consiste primeiramente no desengraxe das peças, onde são eliminadas quaisquer partículas de sujeira presentes na superfície do metal. Como as chapas são protegidas com óleo enquanto ficam armazenadas durante o processo de conformação, é indispensável essa etapa de desengraxe para fazer a limpeza das peças. Depois elas passam por um processo de enxágue, para então passar pela etapa do banho de fosfatização, etapa em que as peças recebem banho de fosfato de ferro. Essa é a principal etapa do pré-tratamento, e o objetivo deste banho é o de melhorar a aderência da tinta e também a proteção contra corrosão presente nas peças;

b) secagem: etapa do processo onde as peças passam por uma estufa de secagem em que as peças são secas e ficam prontas para receber a tinta em pó na sua superfície;

c) pintura a pó eletrostática: etapa do processo em que a tinta em pó é depositada sobre a superfície das peças pelo princípio de atração elétrica entre cargas opostas, onde ocorre uma diferença de potencial entre a peça e a tinta em pó;

d) polimerização: nesta etapa, após as peças estarem cobertas de tinta em pó acontece a cura da tinta na peça, assim aderindo a resina presente da tinta nas peças.

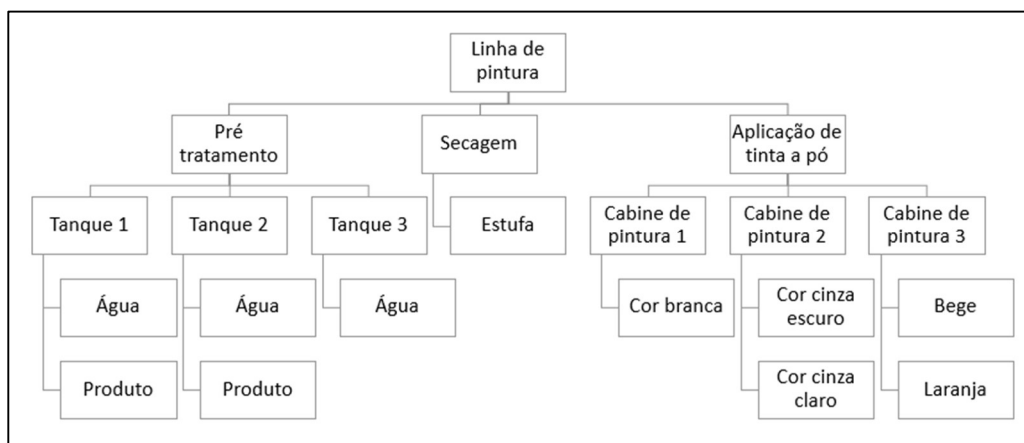
(ENDOSUL, 2014).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O atual processo de pré-tratamento da Legrand, em Caxias do Sul, existe há muito tempo, desde o surgimento da fábrica. Novas tecnologias que tendem a melhorar esses processos surgiram nos últimos anos. Uma dessas tecnologias é a aplicação de nanocerâmicos em substituição ao fosfato de ferro ou zinco. A aplicação da nanotecnologia traz vantagens ao processo de pré-tratamento da pintura. O atual processo de fosfatização na Legrand é composto por três (3) estágios de banho por spray. Esse processo pode ser subdividido conforme é visualizado na Figura 10:

- Tanque 1
  - Inclusão de desengraxante: 80 %.
  - Inclusão de fosfato de ferro: 20 %.
  - Temperatura do banho: 40 a 60 °C.
  - Tanque utilizado para a maior parte do desengraxe dos produtos.
  - Ph: 4,5 a 7
  - Volume: 2.475 litros.
  - Concentração: 6 a 8%
- Tanque 2
  - Inclusão de desengraxante: 20 %.
  - Inclusão de fosfato de ferro: 80 %.
  - Temperatura do banho: 50 a 60 °C.
  - Tanque utilizado para a maior parte da fosfatização dos produtos.
  - Ph: 4,5 a 7.
  - Volume: 2.475 litros.
- Tanque 3
  - Nenhuma inclusão de produtos.
  - Tanque utilizado para enxaguar os produtos.
  - Temperatura do banho: Ambiente, sem necessidade de aquecimento.
  - Ph: 6 a 8.
  - Volume: 1.980 litros.
  - Concentração: 0 %.

Figura 10 - Organograma da pintura



Um ponto muito importante para a companhia nos dias atuais são as questões ambientais, sejam elas consumo de energia elétrica, consumo de gás, geração de resíduos, emissão de VOC, consumo de água, entre tantos outros. A linha de pré-tratamento é o maior ofensor no consumo de água da Fábrica 2. Para que o processo de desengraxe e fosfatização das peças durante o banho seja eficiente existe um cronograma de trocas de banhos, onde é descartado o volume de água com os componentes internos para que sejam tratados e liberados no meio ambiente. Também é feita a limpeza de todo o sistema retirando o lodo acumulado nos três tanques e levando o mesmo para ser descartado pelos órgãos competentes. Esse cronograma foi elaborado com base na saturação do banho, com trocas que fazem com que o mesmo não tenha uma perda de eficiência.

A troca dos banhos é programada da seguinte maneira:

- Tanque 1: uma troca mensal.
- Tanque 2: uma troca mensal.
- Tanque 3: duas vezes na semana.

Durante um ano são gastos muitos litros de água, o composto nanocerâmico possibilita a redução de um dos três tanques da linha de produção fazendo com que cerca de 1/3 do consumo de água possa ser reduzido. Também é possível postergar a troca do banho para até três (3) meses devido ao melhor aproveitamento da saturação de óleos e graxas e da estabilidade do novo banho.

Devido à alta concentração de fosfato de ferro encontrada nos efluentes que são destinados para a Estação de Tratamento (ETE) a empresa não conseguiria tratar internamente esse material e atender as legislações necessárias para descarte. Devido a essa necessidade, a Legrand, hoje, está destinando esse efluente para outra companhia tratar e descartar o mesmo, sendo assim, está acarretando um alto custo no processo de tratamento do efluente que não necessariamente deveria existir, visto que existe uma Estação de tratamento interna. O trabalho de implementação de um composto nanocerâmico vem ao encontro de eliminar a emissão de fosfato de ferro nos efluentes e assim, podendo ser eliminado o custo de tratamento fora da Legrand.

### 3.1 DESCRIÇÃO DETALHADA DO TRABALHO

Iniciando o projeto, foi definido a data de montagem dos banhos para o teste prático na linha de produção, e para isso foi utilizada a troca mensal dos banhos e enxágue já utilizadas no cronograma padrão da Legrand, assim, podendo otimizar o processo de limpeza e começar com o produto novo no início do mês. Com o banho novo montado foi utilizada a faixa de 1 % de Bonderite no banho e realizado os testes normativos de alongamento, aderência, corrosão em

amostras padrões para validar a aplicabilidade do produto nas chapas metálicas com o processo padrão de aplicação da Legrand sendo eles: tempo de monovia rodando, paradas não planejadas em linha, camada de cobrimento da tinta, óleos e graxas que os processos anteriores possuem.

Com todos os testes normativos sendo validados na concentração nominal de 1 %, foi o momento de encontrar os dois limites práticos de concentração do Bonderite que não afetam a qualidade do banho e a aderência da tinta sobre o substrato metálico. Deve-se reduzir a quantidade de produto aplicado no tanque do banho de modo que a concentração de Bonderite reduza e sejam feitos os testes normativos até que algum deles falhe. Desse modo, pode-se encontrar qual é a menor faixa de concentração do produto no banho em que o processo ainda fica estável. Do mesmo modo em que será realizado os testes para definir o limite inferior de concentração, deve ser feito para o limite superior, só que dessa vez adicionando produto até que o banho comece a aumentar a concentração e os testes normativos não consigam se estabilizar novamente.

A realização das verificações práticas de limite inferior e superior da concentração de Bonderite são necessárias vista a quantidade de produtos e componentes com formas e geometrias distintas que passam na cabine de pré-tratamento da Legrand. Essa instabilidade de formas e tamanhos geram um arraste de produto específico desse processo que faz com que a quantidade limite inferior e superior de produto seja diferente de outra linha que utilize o mesmo componente para o seu banho, devido a esse motivo essa etapa é tão importante.

A etapa a seguir deve ser a de regulagem dos dosadores automáticos. Essa etapa, necessariamente, é longa pois necessita-se que o maior número de peças com as mais diferentes formas e geometrias passem pela monovia para que a regulagem do dosador do banho esteja sempre dentro das faixas limite especificadas na etapa anterior. Para ter uma confiabilidade alta na regulagem do dosador de produto deve-se medir com alta frequência, tanto o pH quanto a concentração de produto no banho e ao longo do tempo reduzindo essa frequência de medição deixando a linha mais autônoma.

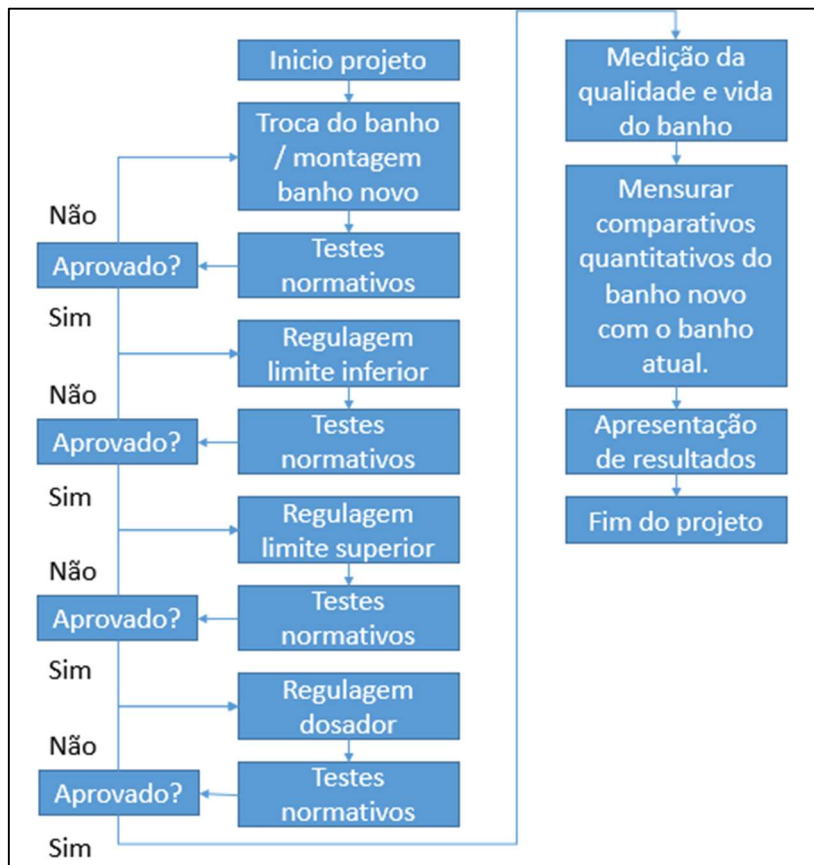
É importante que sejam testados os itens que passam pela etapa de pré-tratamento, inclusive os itens que ficam parados dentro das cabines de banho na hora do almoço, troca de turno, café e final de semana e verificar como se comporta o nanocerâmico nas peças.

Com o processo de aplicação dos produtos propostos estável, os testes normativos aprovados e com a linha o mais autônoma possível é o momento de mensurar a maturação do banho, medir a qualidade do banho e prever o tempo de vida útil do mesmo. Para essa etapa é necessário colher amostras tanto do tanque do banho quanto do tanque do enxágue e fazer externamente, uma avaliação de óleos e graxas presentes nesses efluentes. Com o resultado obtido pode-se fazer um comparativo com o banho de fosfato de ferro e desengraxante, assim sendo possível mensurar um tempo de vida útil do novo estágio de pré-tratamento. Com esses dados deve ser gerado um novo

cronograma de troca dos tanques de enxágue e banho. Na primeira troca é necessário que seja medido a quantidade de lodo produzido nos tanques e que seja comparada com a quantidade que era gerada na versão anterior. Mensurar todos os custos de transporte desses compostos orgânicos e tratamento/descarte do mesmo.

Com todos os dados levantados ao longo das atividades anteriores, a nova etapa teve como principal característica mensurar quantitativamente a versão anterior com a versão final do novo banho nas questões de custos energéticos, consumo de água, consumo de produtos para montagem e estabilidade do banho e consumo de tratamento dos efluentes e seus resíduos orgânicos. Essas etapas macro podem ser melhor observadas na Figura 11.

Figura 11 – Etapas projeto



Fonte: (O autor, 2022)

### 3.2 RECURSOS

Com o objetivo do projeto sendo a alteração do processo de fosfatização realizado na linha de pré-tratamento da pintura eletrolítica, localizada na Fábrica 2, da empresa Legrand, em Caxias do Sul. O material proposto para substituir o fosfato de ferro e o desengraxante é o Bonderite M-NT CC 42 junto com o aditivo Bonderite C-AD 1270. Essa alteração deve proporcionar a limpeza completa dos subprodutos que passam pela linha de pintura. Os subprodutos devem passar pelos testes de aprovação normativos Legrand, sendo eles:

- Teste de resistência à aderência;
- Teste de resistência ao alongamento;
- Teste de resistência à corrosão;
- Concentração de produto no banho e no enxágue;
- Medição do pH do banho e do enxágue.

Foi montado o banho de pré-tratamento com o componente nanocerâmico (Bonderite NT CC 43 e o Bonderite C-AD 1270) para verificar o nível de aderência da cobertura de tinta, verificar a geração de lodo e o tempo de saturação do banho. Desta forma, foi acompanhado diariamente a concentração de produto para comparar o nível de resistência a tração, alongamento e corrosão e assim, adequar a melhor faixa de concentração do produto para a linha de pintura da empresa Legrand.

Para os testes normativos da Legrand a equipe de qualidade foi responsável por conduzir os testes no laboratório interno da empresa. Para cada um dos testes normativos foi **necessária uma seleção** de equipamentos diferentes, sendo eles os seguintes:

Teste de resistência à aderência: foi utilizado um estilete com a lâmina a 45 ° de contato com a peça. Também foi necessário passar a lâmina sobre a peça de modo que seja cortado 100 % da camada de tinta até chegar no aço e em forma de quadrados, como ilustrado na Figura 12. É necessário colar uma fita filamentada em cima da parte cortada da peça, aguardar um (1) minuto e retirar a mesma de uma única vez. Com esse teste e seguindo a norma NBR 11003 (ABNT, 1990) a Figura 13 mostra a classificação do grau de aderência do sistema de pintura no substrato.

Figura 12 – Modelo de teste de aderência



Fonte: Empresa Legrand (2022)

Figura 13 – Classificação de grau de aderência conforme NBR 11003

<p><b>GR 0</b> As bordas dos cortes permanecem. Completamente íntegras, nenhum dos quadradinhos foi destacado.</p>	
<p><b>GR 1</b> Pequenos fragmentos da película foram destacados ao longo das interseções. A área afetada é menor que 5%.</p>	
<p><b>GR 2</b> Pequenos fragmentos das películas foram destacados nas interseções dos cortes. A área afetada é de 5 a 15% do quadriculado.</p>	
<p><b>GR 3</b> A película se destaca ao longo das bordas e em partes dos quadriculados. A área afetada é de 15 a 35% do quadriculado.</p>	
<p><b>GR 4</b> A película se destaca das bordas dos quadrados em grandes tiras e quadradinhos inteiros se destacam. A área afetada é de 65% ou mais dos quadriculados</p>	

Fonte: Adaptada (NBR 11003)

Teste de resistência ao alongamento: o teste de alongamento foi realizado dentro da empresa Legrand e utilizou um mandril cônico (como pode ser observado na Figura 14) para fazer a torção das chapas de teste. O equipamento é muito similar a um torno com dois cilindros. Porém o cilindro inferior tem dois diâmetros distintos, fazendo a sua forma se assemelhar a um cone, assim, sendo possível fazer a dobra na peça com diâmetros diferentes ao longo de todo o processo.



Figura 14 – Mandril cônico



Fonte: (Elcometer)

Teste de resistência à corrosão: Para o teste de resistência à corrosão, também conhecido como *salt spray*, foram coletadas 10 amostras padrões que passaram pelo pré-tratamento com a utilização do **Bonderite CC 42** e sofreram um corte em “X” na sua superfície. Após feito o corte, foram colocadas durante uma semana dentro da cabine de *salt spray* onde passou por um teste de corrosão por névoa salina. No final do teste foi avaliado a corrosão na superfície do corte e também se existiu uma propagação interna dessa corrosão por debaixo do substrato de tinta.

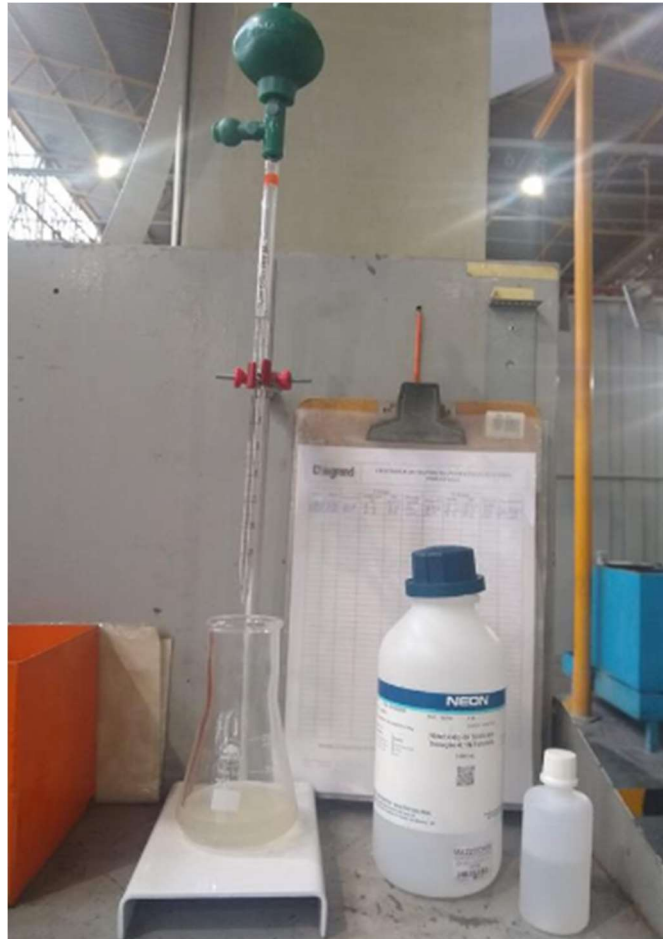
Para a verificação de concentração do **Bonderite CC 42** no banho e no enxágue foram utilizados os seguintes materiais: Uma pipeta volumétrica, um pipetador de borracha de três vias e um Erlenmeyer. Como materiais auxiliares foram usados: Hidróxido de Sódio em Solução 0,1N Fatorada e o reagente. A Figura 15 mostra todos os materiais que foram utilizados no processo de medição da concentração de **Bonderite CC 42** no banho e no enxágue.

O processo de verificação da concentração do banho e/ou enxágue é o seguinte: primeiro deve-se coletar 100 ml do banho em utilização ou do enxágue e armazená-lo no Erlenmeyer, logo após deve se adicionar de 8 a 10 gotas do reagente. Utilizando a pipeta volumétrica e o pipetador de borrachas três vias, deve-se pegar 10 ml do Hidróxido de Sódio em Solução 0,1N Fatorada e ir adicionando aos poucos enquanto mistura até o líquido dentro do Erlenmeyer mudar a sua coloração para rosa. No momento em que a solução ficar rosa, significa que a mesma saturou, pode-se observar o quanto de NaOH foi adicionado e multiplicar por 0,118 para ver o percentual de saturação do banho.

Para verificar a qualidade do banho e enxágue também é medido o pH dos dois estágios. Para essa etapa é utilizado as fitas de medir pH com as faixas de 0-14 ou as fitas com as faixas de 0 a 6. Deve-se colocar a fita dentro do banho ou do enxágue, aguardar 10 segundos e retirar a

mesma, com o auxílio do verso da caixa de fitas verificar qual a coloração a fita mais se assemelha e informar o pH dos tanques.

Figura 15 – Materiais para verificação de concentração de Bonderite



Fonte: O autor, 2022

A etapa de mensurar de forma comparativa os dois modelos de pré-tratamento, sendo eles o de fosfato de ferro mais desengraxante com o de Bonderite NT CC 42 mais o Bonderite C-AD 1270, teve o auxílio das áreas de compras, manutenção e qualidade da empresa Legrand.

Possuindo todos os dados de consumo para montagem dos banhos e a quantidade utilizada para a manutenção dos mesmos, foi solicitado para a área de compras o custo de aquisição dos materiais, assim, sendo possível fazer um levantamento do custo mensal da utilização do banho de Bonderite versus a utilização do banho de fosfato de ferro. Nesse comparativo também foi levantando a quantidade de trocas e montagens que são necessárias dos banhos e enxágues para fim de mensurar o custo com a equipe terceirizada que faz a limpeza e montagem dos banhos e enxágues dentro da empresa Legrand.

Com o auxílio da área de manutenção foram levantados todos os custos energéticos atuais da linha do banho de fosfato de ferro que utiliza dois (2) estágios de banhos aquecidos e,

posteriormente, foi levantado os custos desligando um desses estágios para a utilização do banho de Bonderite. Dessa maneira foi realizado o comparativo de ganho energético desse sistema com a redução de aquecimento e o desligamento das bombas acionadoras do primeiro tanque.

## 4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

### 4.1. APLICAÇÃO DO BONDERITE EM EMPRESA TERCEIRA

Foram separadas 5 amostras normatizadas para realizar o teste de aplicação do Bonderite em uma linha de pintura a pó, com a estação de pré-tratamento das peças, com dois estágios de aplicação de produto e um de enxágue. A concentração de produto medido pelo método do Hidróxido de Sódio mais reagente foi de 1 %. Imediatamente após a aplicação e enxágue do produto, as peças foram retiradas das gancheiras e embaladas em plástico bolha para não sofrer ação externa e encaminhadas para a Legrand para a aplicação da tinta.

Com as peças já na Legrand, foram carregadas na monovia após a etapa de pré-tratamento de superfície para que pudessem ser pintadas e em seguida testadas normativamente. Todas as 5 amostras na ocasião foram pintadas com a tinta branca como podemos ver na Figura 16.

Figura 16 – Corpo de prova pintado branco



Fonte: O autor, 2022

Com a aplicação da tinta nas amostras foram realizadas as etapas de testes normativos para a validação do novo produto. Seguindo os métodos encontrados na referência bibliográfica, foram realizados os seguintes testes: ISO 9227 – Salt Spray, ISO 1519 – Flexão cilíndrica de mandril, ISO 2409 – Aderência de superfície e a validação da cura da tinta. Na Tabela 01 é possível verificar os resultados obtidos nos testes.

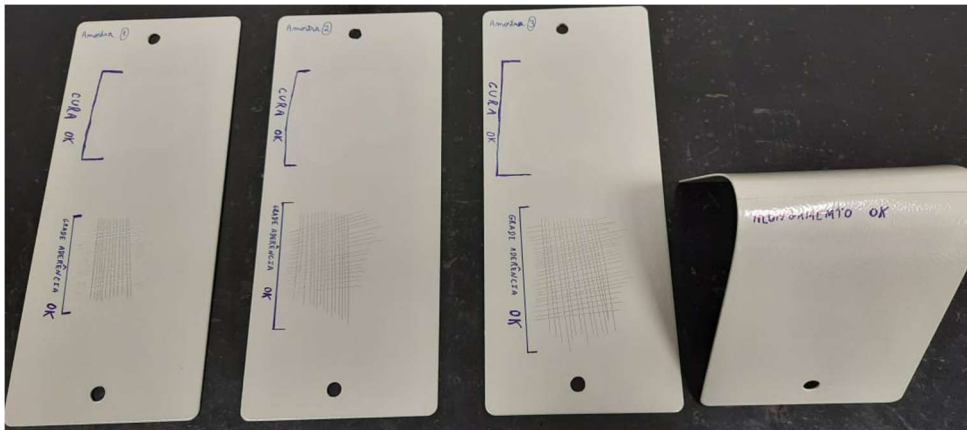
Tabela 01 -Dados testes ISO'S

Amostras	ISO 2409	Teste Cura	ISO 1519	ISO 9227
1	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
2	Aprovado	Aprovado	Reprovado	Aprovado
3	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
4	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
5	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado

Fonte: O autor, 2022

A Figura 17 mostra o resultado prático dos testes de aderência superficial e cura da tinta nas amostras 1, 2 e 3. É possível verificar que em todos os testes de grade nessas condições obtivemos o grau de aderência de GR 0, segundo a norma NBR11003. A equipe de qualidade da empresa terceira onde foram feitos os banhos de pré-tratamento das amostras nos mostraram as amostras testadas dos itens deles nos últimos três meses e nenhuma obteve um GR superior a grau 1.

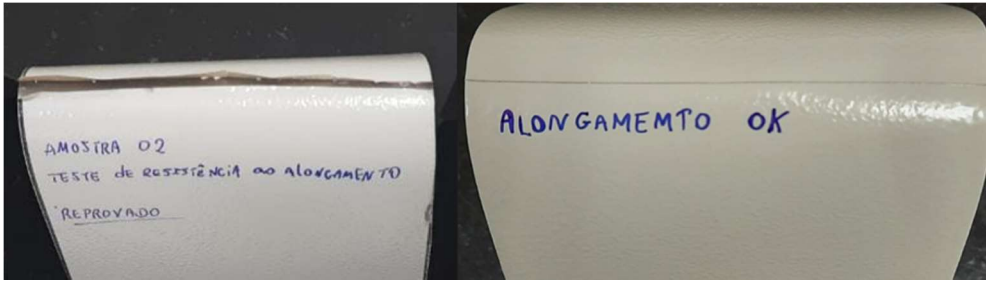
Figura 17 – Resultados testes de aderência superficial



Fonte: O autor, 2022

Já no teste da ISO 1519 a amostra 2 obteve o retorno negativo. É possível visualizar na Figura 18 um comparativo de resultados do teste de flexão cilíndrica entre a amostra 2 (reprovada) e uma outra amostra aprovada. A amostra reprovada teve em sua região afetada o completo descolamento do substrato de tinta da superfície metálica, enquanto nas outras aprovadas, mesmo com a ação de tentar descolar a tinta com um estilete não foi visualizado nenhum dano.

Figura 18 – Teste flexão cilíndrica Reprovado X Aprovado

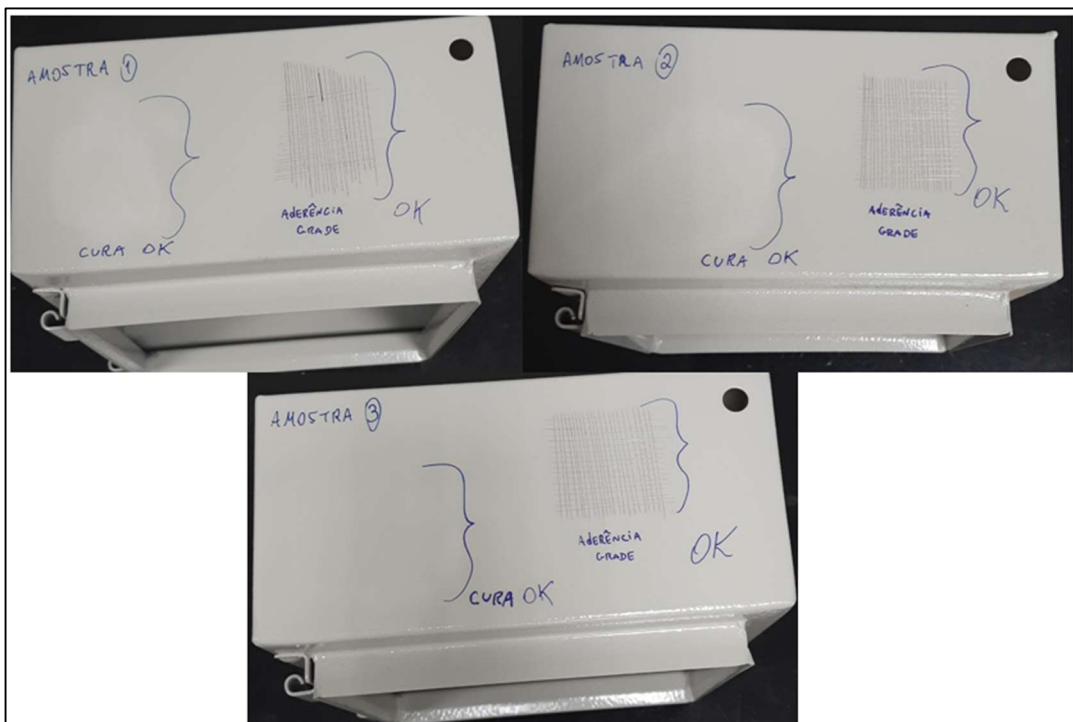


Fonte: O autor, 2022

Com os dados positivos coletados após realizar todos os testes normativos nas amostras padronizadas, foi realizado uma segunda batelada de testes. Agora, com itens produtivos que possuem geometria um pouco mais complexa para verificar a estabilidade do banho. Foram encaminhadas três unidades do produto quadro de comando 2020 para a empresa terceira realizar novamente os banhos nas peças e nos enviarem para realizar a pintura internamente do produto.

Todos os produtos foram pintados, agora na cor bege, e passaram pelos mesmos testes que as amostras, retirando o de flexão cilíndrica, que não era possível de realizar devido a geometria do item. Todos os testes foram aprovados, com somente um adendo no resultado de aderência superficial onde a amostra 1 apresentou um GR1 ao invés de GR0 como todas as outras. A Figura 19 mostra os resultados das amostras testadas.

Figura 19 – Testes normativos nos quadros de comando



Fonte: O autor, 2022

## 4.2. MONTAGEM DO BANHO

Com todos os resultados positivos obtidos nos testes das amostras banhadas na empresa terceira, foi iniciado a montagem do banho na linha de pintura da Legrand. Seguindo a base de dados e informações passadas pelo fornecedor do Bonderite CC 42, com a avaliação da linha de pré-tratamento. Foi estipulado que a condição ideal para conseguirmos atingir uma concentração inicial de 1 %, como realizado nas amostras de testes, era necessário que utilizássemos as seguintes receitas para a montagem do banho:

Para a montagem dos tanques para o banho proposto de Bonderite CC 42, foi primeiro necessário esvaziar os três estágios completamente, vide Figura 20, para poder fazer a limpeza do resíduo orgânico que fica incrustado nas paredes (lodo). Todo o volume de efluente gerado nessa troca foi destinado para a empresa terceira fazer o descarte do mesmo, já que com os resultados dos testes não conseguimos tratar o efluente internamente. Para o teste inicial foi definido que o tanque um onde ficava o segundo estágio do banho seria desativado e somente seria utilizado o estágio 2 e 3. Portanto no estágio 2 o tanque foi preenchido com água do poço até  $\frac{3}{4}$  do seu volume total e posteriormente adicionado 50 litros do produto Bonderite CC 42 e 0,5 litros do tensoativo. É possível verificar a composição da água do poço no Anexo A. A mistura do tanque 2 foi homogeneizado por 5 minutos, ligando as bombas de pressão e permitindo que o sistema rodasse sem que a monovia estivesse ligada. Para finalizar a montagem foi preenchido o volume faltante do tanque dois, com água do poço e enchido de uma única vez o tanque 3, com a água pura da rede.

Figura 20 – Estágios 1, 2 e 3 dos tanques



Fonte: O autor, 2022

Com o auxílio dos equipamentos de medição foi analisado o pH dos dois estágios do banho e a concentração de produto do estágio 2.

- estágio 3 pH: 5
- estágio 2 pH: 6
- estágio 2 concentração: 1,1 %

4.3. TESTES PRÁTICOS

Foram testadas as 177 amostras padronizadas seguindo as ISO's 2409, 1519 e 9227 para verificar como se comportaria a aplicação da nanotecnologia na linha de pintura da empresa Legrand. A Tabela 02 mostra os resultados práticos dos itens produzidos. Para uma avaliação completa foram efetuados testes normativos em itens das amostras e em componentes com geometrias complexas da linha de produção, objetivando avaliar a limpeza em regiões restritas destes componentes.

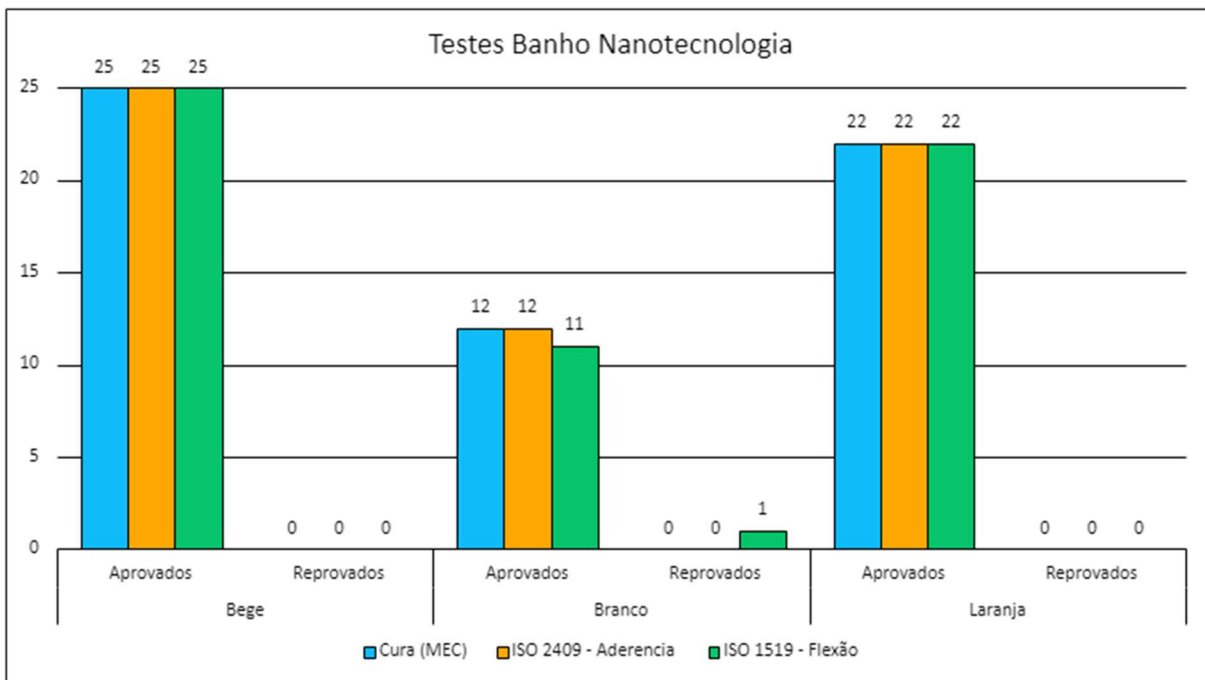
Tabela 02 – Resultados práticos por coloração

Teste	Bege		Branco		Laranja	
	Aprovados	Reprovados	Aprovados	Reprovados	Aprovados	Reprovados
Cura (MEC)	25	0	12	0	22	0
ISO 2409 - Aderencia	25	0	12	0	22	0
ISO 1519 - Flexão	25	0	11	1	22	0

Fonte: O autor, 2022

O levantamento de dados da Tabela 02 foi montado levando em consideração a variação de concentração do Bonderite CC 42 e distintas colorações da pintura. No Gráfico 01 é possível verificar a quantidade de aprovações e reprovações nos testes ISO's relativos as diferentes colorações que passam na linha (bege, branco e laranja).

Gráfico 01 – Testes banho nanotecnologia



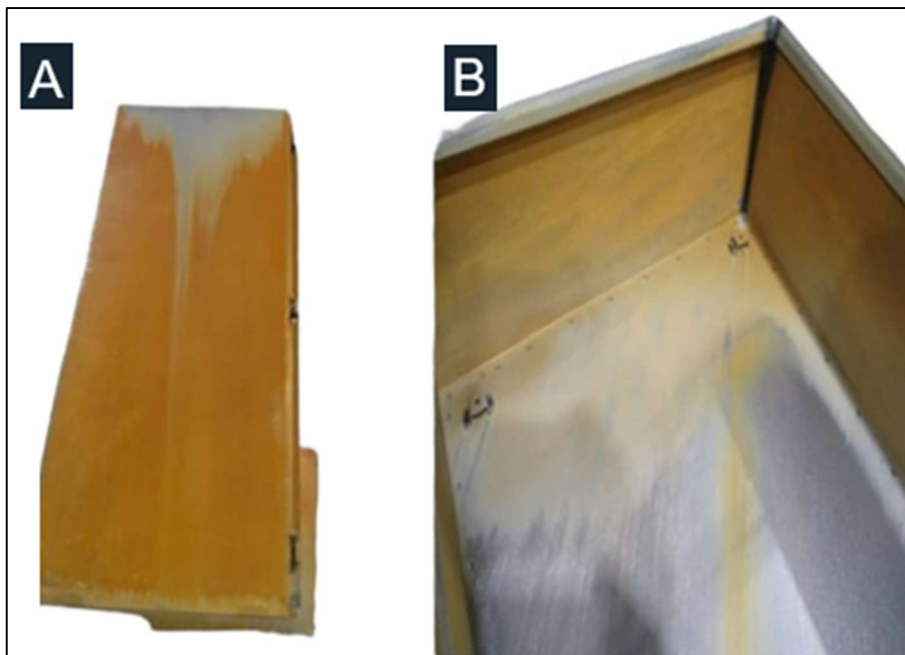
Fonte: O autor, 2022



Observou-se que o tempo em que as peças ficavam em repouso aguardando serem pintadas as afetavam significativamente. Decorrido 24 horas desde o início dos testes, observou-se uma coloração muito amarelada nas peças antes de serem pintadas. A variação temporal típica estava relacionada com paradas usuais da empresa que flutuavam de 15 minutos até 60 minutos. Nos casos extremos de troca de turno o intervalo de espera dos componentes, que já receberam o tratamento com o Bonderite CC 42, na monovia do equipamento de pintura chegou a 300 minutos.

Na Figura 21 é possível verificar as diferentes tonalidades de amarelo que as peças apresentavam durante as paradas de turno. Este fenômeno ocorre porque a alcalinização efetuada após aplicação do Bonderite CC 42 apresenta um intervalo limitado de atuação, perdendo sua eficiência decorrido de um intervalo temporal, cerca de 5 horas.

Figura 21 – Reação do Bonderite CC 42 em paradas no banho



Fonte: O autor, 2022

Como é observado na Figura 21, no lado B até os locais onde acumulam a água do banho na peça agridem mais o material devido a maior concentração do Bonderite CC 42. Na Figura 2(a) é visível a agressividade do produto com a linha parada do turno B até o início do turno A, cerca de 5h. Já que um dos grandes ofensores é a acidez do banho e o enxágue não está dando conta de alcalinizar as peças, será adicionado um moderador para retardar esse aspecto de corrosão nos substratos metálicos. O moderador nada mais é do que um componente presente na composição do Bonderite CC 42 que será adicionado na mistura.

Com o objetivo de sanar as dificuldades acima mencionadas, adicionou-se um moderador para aumentar o tempo de alcalinização nos substratos metálicos.

#### 4.4. CONCENTRAÇÕES E TESTES NORMATIVOS

Com o intuito de gerenciar o consumo de produto utilizado na linha de pré-tratamento e assegurar a qualidade do banho, decidiu gerar um limite mínimo e máximo de concentração aceitável do Bonderite no banho.

Com o objetivo de testar o limite inferior da concentração, efetuou-se ensaios que partiram de 0,97 % de concentração de produto no banho de pré-tratamento. Partindo desse valor, iniciou-se um decréscimo gradativo da concentração para verificar em qual momento existira uma variação nos resultados dos testes normativos.

Durante o acompanhamento da redução da concentração de produto no banho foram realizados os testes normativos seguindo as ISO's 2409, 1519 e 9227 em intervalos de variação de concentração de 0,5 %. Ou seja, foram realizados testes decrescendo a concentração em 0,05 % a partir de 0,95 % até alcançar o limite mínimo de 0,30 %. Na tabela 03 é possível verificar uma instabilidade nos testes laboratoriais, com reprovação de peças, quando a concentração do produto é inferior ao valor de 0,5 %. Para facilitar a análise foi desenvolvido uma escala de aprovação dos testes. Os testes que tivessem um grau de aprovação maior do que 95 % em todas as amostras testadas receberiam o título de “*Aprovado*”, os que se encontrassem na faixa de 95 % à 80 % seriam identificados como “*Instável*” e os abaixo de 80 % como “*Reprovado*”.

Tabela 03 – Resultados dos testes ISO'S por percentual de Bonderite CC 42 mínimo

Concentração	ISO 2409	Teste Cura	ISO 1519	ISO 9227
0,95	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,90	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,85	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,80	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,75	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,70	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,65	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,60	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,55	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,50	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
0,45	Reprovado	Aprovado	Instável	Aprovado
0,40	Reprovado	Aprovado	Reprovado	Instável
0,35	Reprovado	Aprovado	Reprovado	Reprovado
0,30	Reprovado	Aprovado	Reprovado	Reprovado
95% < x	<b>Aprovado</b>			
95% > x > 80%	Instável			
80% > x	Reprovado			

Fonte: O autor, 2022

Para cada faixa de concentração de Bonderite foram testadas pelo menos 50 unidades de peças padrões. Com os dados coletados durante a fase de testes foi definido que a faixa segura de utilização do produto era de 0,95 % até o limite inferior de 0,50 %, onde foi encontrado um índice de aprovação em todos os testes superior a 95 %.

Com o objetivo de testar o limite superior da concentração efetuou-se ensaios que partiram de 0,97 % de concentração de produto no banho de pré-tratamento, incrementado 0,05 % de concentração até o valor de 2 %. Os valores máximos e mínimos dos testes (2 % e 0,3 %) foram indicações diretas do fornecedor. É possível verificar os resultados dos testes na Tabela 04, os dados foram separados por grau de aprovação igualmente o utilizado na Tabela 03.

Tabela 04 – Resultados dos testes ISO'S por percentual de Bonderite CC 42 máximo

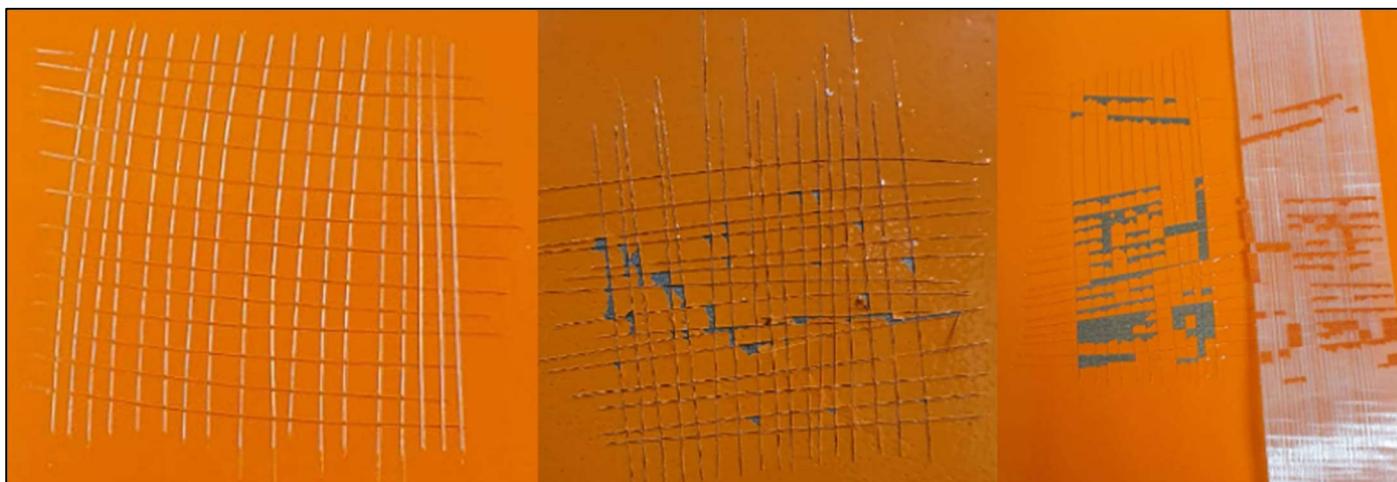
Concentração	ISO 2409	Teste Cura	ISO 1519	ISO 9227
0,95	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,00	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,05	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,10	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,15	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,20	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,25	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,30	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,35	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,40	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,45	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,50	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,55	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
1,60	Aprovado	Aprovado	Instável	Aprovado
1,65	Aprovado	Aprovado	Instável	Aprovado
1,70	Reprovado	Aprovado	Instável	Aprovado
1,75	Reprovado	Aprovado	Instável	Aprovado
1,80	Reprovado	Aprovado	Reprovado	Aprovado
1,85	Reprovado	Aprovado	Reprovado	Aprovado
1,90	Reprovado	Aprovado	Reprovado	Aprovado
95% < x	<b>Aprovado</b>			
95% > x > 80%	Instável			
80% > x	Reprovado			

Fonte: O autor, 2022

Com todos os resultados dos testes e dados coletados, foi possível verificar que o processo de aplicação da tinta com o pré-tratamento da pintura é estável para o limite superior de 0,95 % até 1,5 %. Com a concentração maior que 1,5 % os testes normativos começam a sofrer instabilidade, sendo o maior ofensor o teste de grade seguindo a ISO 2409. Com a maior

quantidade de produto no substrato metálico as peças ficam muito frágeis na superfície e não permite que a tinta se mantenha com uma aderência suficientemente boa. Na Figura 22 é possível verificar os níveis de GR atingidos nos corpos de prova durante os testes de limites de concentração. Os resultados aprovados no laboratório da Legrand só contabilizam GR0 e GR1, qualquer grau superior está reprovado no teste de aderência.

Figura 22 – Graus de GR



Fonte: O autor, 2022

#### 4.5. TROCA de BANHO E ENXÁGUE

O fornecedor do Bonderice CC 42 indica fazer a análise de óleos e graxas do efluente contido dentro dos tanques de banho e enxágue para garantir a qualidade da atuação do Bonderite CC 42. Além das análises de concentração de Bonderite CC 42 e pH, deve-se fazer a conferência do percentual de óleos e graxas mensalmente contidos nesse efluente. Para que seja possível ter um banho saudável e com um bom rendimento, o fornecedor especifica que a concentração de óleos e graxas não deve passar de 1,0 %.

Esse teste de concentração de óleos e graxas é realizado em empresa terceira. Para o mesmo, é necessário coletar uma amostra do banho de 500 ml e enviá-la ao laboratório que fará a análise. Foram realizadas durante a produção de 3 meses, as análises de concentração de óleos e graxas para verificar a qualidade e o tempo previsto de saturação do banho nas condições atuais de aplicação na Legrand. A Tabela 05 mostra os resultados obtidos dos testes nesse período.

Tabela 05 – Concentração de óleos e graxas

Amostra	Teste	Resultado	Especificação
1	Óleos e Graxas	0,1	<1,0 %
	Concentração de Boncerite CC-42	1,05	0,5 - 1,5%
2	Óleos e Graxas	0,1	<1,0 %
	Concentração de Boncerite CC-43	1,00	0,5 - 1,5%
3	Óleos e Graxas	0,3	<1,0 %
	Concentração de Boncerite CC-44	1,2	0,5 - 1,5%

Fonte: O autor, 2022

Com os resultados das análises contidas na Tabela 05 é possível estimar que a qualidade do banho referente a concentração de óleos e graxas ficaria dentro dos padrões aceitáveis por cerca de 10 meses. No terceiro mês de teste o resultado foi de 0,3 % de concentração de óleos e graxas presentes no tanque do banho. Com essa tendência de crescimento percentual da concentração, só seria atingido o limite máximo percentual no décimo mês. Essa projeção comparada com o cenário atual, onde o banho de fosfato de ferro deve ser trocado mensalmente, gera uma diferença de 10 vezes menos efluente descartado.

O procedimento para realizar a limpeza dos tanques da linha de pré-tratamento:

- Esvaziar os tanques: Deve-se desligar a bomba e o queimador do banho.
- Tempo de espera para realizar a retirada do efluente: Duas horas depois do desligamento do queimador e bombas, quando a temperatura do efluente já está abaixo de 30 °C.

- Desligar a válvula de entrada de água e abrir a válvula do tanque de banho até esvaziar o mesmo.
- Após esvaziar os tanques, retirar as peneiras e lavá-las, bem como o tanque internamente, retirando a grade que fica no interior do túnel.
- Entrar no tanque e com o auxílio de uma pá recolher o lodo. E após, fazer a limpeza com o lava a jato.
- Recolher as peneiras, fechar a válvula e encher novamente o tanque com a água do poço, preparando os tanques para a montagem.

A geração de material orgânico (lodo) durante o período de um mês, na formulação antiga utilizando o fosfato de ferro, gerava 2 tambores de 200 litros. A limpeza geral dos tanques com a utilização do Bonderite CC 42 não utilizou meio tambor, gerando assim menos de 50 litros de lodo. Essa alteração de produto gerou uma redução na geração de lodo cerca de 75 %.

Com os resultados das análises de óleos e graxas no banho, identificando que o mesmo tem vida útil de 10 meses, é possível realizar os cálculos de eficiência energética e consumo de água. Por questões de estabilidade da linha, a frequência da troca dos banhos irá iniciar em um intervalo de três meses, e subir gradativamente até o intervalo de dez meses que é o limitante observado nas análises de óleos e graxas.

## 4.6. CONSUMOS

### 4.6.1. Consumo de água

Com a implementação do novo processo de pré-tratamento utilizando o nanocerâmico, é possível mensurar quantitativamente a redução de água utilizada durante o ano. A Tabela 06 mostra o consumo de cada um dos três estágios do pré-tratamento, fazendo um comparativo entre os processos de Fosfato de Ferro e Bonderite CC 42.

Tabela 06 – Consumo de água Fosfato de ferro X Bonderite CC 42

	Volume tanque (L)	Fosfato de ferro	Bonderite CC-42	Fosfato de ferro	Bonderite CC-42	Redução do consumo de água
		Meses para limpeza tanque	Meses para limpeza tanque	Volume de água por ano (L)	Volume de água por ano (L)	
<b>Estágio 1</b>	2475	1	0	29700	0	29700
<b>Estágio 2</b>	2475	1	3	29700	9900	19800
<b>Estágio 3</b>	1980	0,5	1	47520	23760	23760

Fonte: O autor, 2022

Com a linha de pré-tratamento utilizando o Bonderite CC 42 não é necessário a utilização do primeiro tanque como já explicado nos capítulos anteriores. Somente com essa alteração no processo foi economizado 29.700 litros de água em um intervalo de um ano. A frequência de troca e limpeza do estágio 2 aumentou em 3 vezes, ou seja, utilizando o Fosfato de Ferro em um intervalo de um ano eram gastos 29.700 litros de água. Já com o Bonderite CC 42 esse valor reduziu para 9.900 litros no mesmo intervalo de tempo, gerando uma redução de 198.000 litros por ano que representa percentualmente -33,33 %.

### 4.6.2. Consumo produtos nanocerâmicos

Com relação ao consumo dos produtos utilizados para a montagem dos banhos com fosfato de ferro e com o nanocerâmico foi vislumbrado um ganho financeiro. A Tabela 07 ilustra os custos e consumos utilizados dos produtos de fosfato de ferro e desengraxante considerando os intervalos de tempo mensais e anuais.

Tabela 07 – Custos dos produtos fosfato de ferro e desengraxante

Sistema atual	Desengraxante		Fosfato de ferro	
	Montagem	Manutenção	Montagem	Manutenção
<b>Litros</b>	150	896	300	821
<b>Custo c/ IPI</b>	R\$ 8,89	R\$ 8,89	R\$ 12,65	R\$ 12,65
<b>Custo * Litros</b>	R\$ 1.333,50	R\$ 7.965,44	R\$ 3.795,00	R\$ 10.385,65
<b>Valor mensal</b>	<b>R\$ 9.298,94</b>		<b>R\$ 14.180,65</b>	
	<b>R\$ 23.479,59</b>			
<b>Valor anual</b>	<b>R\$ 281.755,08</b>			

Fonte: O autor, 2022

Com a definição da quantia de concentração de Bonderite CC 42 na montagem e na manutenção do banho, foi possível levantar os dados quantitativos de custo desses produtos. A Tabela 08 ilustra o consumo e custo dos produtos no intervalo de tempo mensal e anual.

Tabela 08 – Custos dos produtos Bonderite CC 42 - 1

Proposta mensal	TENSOATIVO 1270		BONDERITE CC42	
	Montagem	Manutenção	Montagem	Manutenção
<b>Litros</b>	0,5	10	50	120
<b>Custo c/ IPI</b>	R\$ 98,62	R\$ 98,62	R\$ 50,44	R\$ 50,44
<b>Custo * Litros</b>	R\$ 49,31	R\$ 986,16	R\$ 2.521,75	R\$ 6.052,20
<b>Valor mensal</b>	<b>R\$ 1.035,47</b>		<b>R\$ 8.573,95</b>	
	<b>R\$ 9.609,42</b>			
<b>Valor anual</b>	<b>R\$ 115.313,02</b>			

Fonte: O autor, 2022

Como foi visto no decorrer do trabalho, a utilização de um moderador e um passivador nos estágios do banho e do enxágue foi necessário para retardar a agressão do nanocerâmico nos substratos metálicos. O consumo em litros e o seu custo no intervalo temporal mensal e anual foi calculado com base nos experimentos na linha de produção. A Tabela 09 mostra os dados coletados do passivador e moderador para a linha de produção.

Tabela 09 – Custos dos produtos Bonderite CC 42 - 2

Proposta mensal	MODERADOR BONDERITE M-AD 426		PASSIVADOR BONDERITE M-PT 54 NC	
	Montagem	Manutenção	Montagem	Manutenção
<b>Litros</b>	0	60	0	12
<b>Custo * Litros</b>	R\$ 1,00	R\$ 1,00	R\$ 1,00	R\$ 1,00
<b>Valor mensal</b>	R\$ -	R\$ 60,00	R\$ -	R\$ 12,00
	<b>R\$ 72,00</b>			
<b>Valor anual</b>	<b>R\$ 864,00</b>			

Fonte: O autor, 2022



Fazendo o comparativo financeiro dos dados acima, entre os modelos de banho utilizando o fosfato de ferro e o nanocerâmico, é possível chegar a uma redução de R\$ 13.798,17 mensalmente e R\$ 165.578,08 anualmente.

A formulação da etapa de pré-tratamento utilizando o Bonderite CC 42 permite o desligamento por completo do primeiro tanque. Sendo assim, todo o conjunto de motores envolvidos no bombeamento da água foram desativados. Esse primeiro tanque contava com três motores para o seu funcionamento, dois deles consomem 2,92 kWh e um maior que consome 4,72 kWh. Para fins de calcular o ganho anual com esse desligamento de motores foi levantado o tempo de trabalho diário da linha e utilizado o valor de R\$ 0,49 como o custo do kWh no mercado livre. A tabela 10 ilustra os cálculos e resultados da redução de energia das bombas.

Tabela 10 – Cálculos redução energética 1

1 Bomba maior CV		2 Bombas menor CV	
Horas/ dia	17,6	Horas/ dia	10
Dias/ mês	22	Dias/ mês	22
Meses/ ano	12	Meses/ ano	12
<b>Consumo/ hora</b>	<b>4,72</b>	<b>Consumo/ hora</b>	<b>2,92</b>
Carga hora/ mês	387,2	Carga hora/ mês	220
Horas/ ano	4.646	Horas/ ano	2.640
Consumo/ ano kWh	21.931,01	Consumo/ ano kWh	7.708,80
Custo kWh	R\$ 0,49	Custo kWh	R\$ 0,49
Saving	<b>R\$ 10.746,19</b>	Saving	<b>R\$ 3.777,31</b>

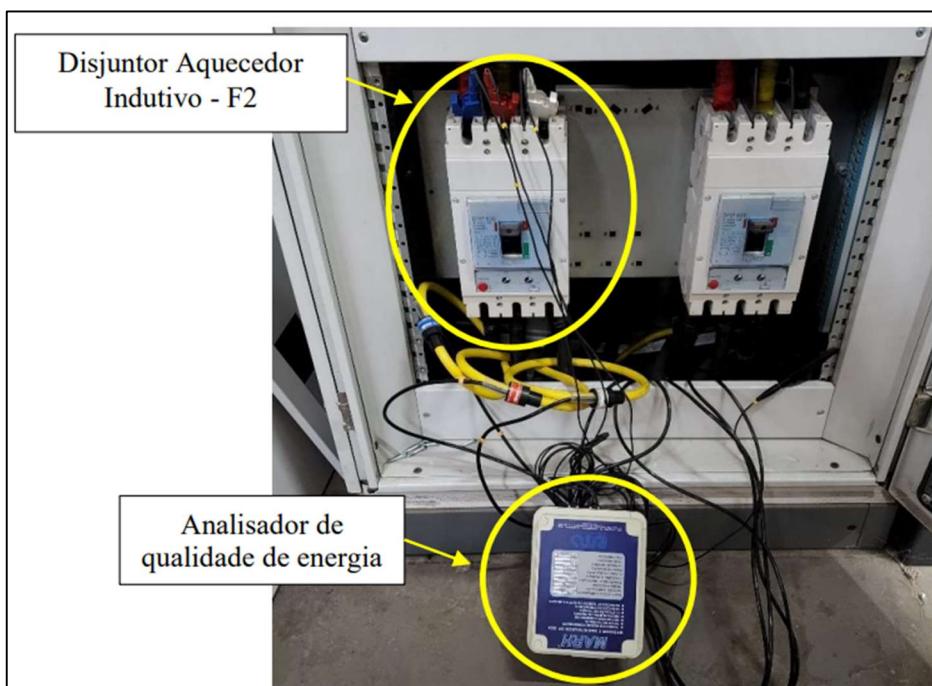
Fonte: O autor, 2022

#### 4.6.3. Consumo Energético aquecedor indutivo

Com a desativação do primeiro estágio/tanque, além da redução de consumo de produtos, desligamento das bombas de transporte de água, também possui o ganho de eficiência energética relacionada ao uso do aquecedor indutivo que aquecia o efluente. Para os cálculos envolvendo o aquecedor foi separado em dois estágios, o primeiro de consumo diário e o segundo de pico de aquecimento.

Foram realizadas medições no disjuntor de 500A do aquecedor indutivo e foi monitorada com o analisador de qualidade de energia marh-28. A Figura 23 ilustra o ponto onde foi realizada as medições no disjuntor.

Figura 23 – Medições de energia aquecedor indutivo



Fonte: O autor, 2022

Todos os dados coletados durante as medições foram analisados com o software Anawin 5.22, o qual gera relatórios de massa, disponibiliza todos os dados coletados das medições, formas de onda, espectros, diagramas de fasores e realiza a classificação dos eventos dentro das normas. Na Tabela 11 é possível observar o resumo da máxima potência ativa demandada por dia, amostra durante o período de nove dias.

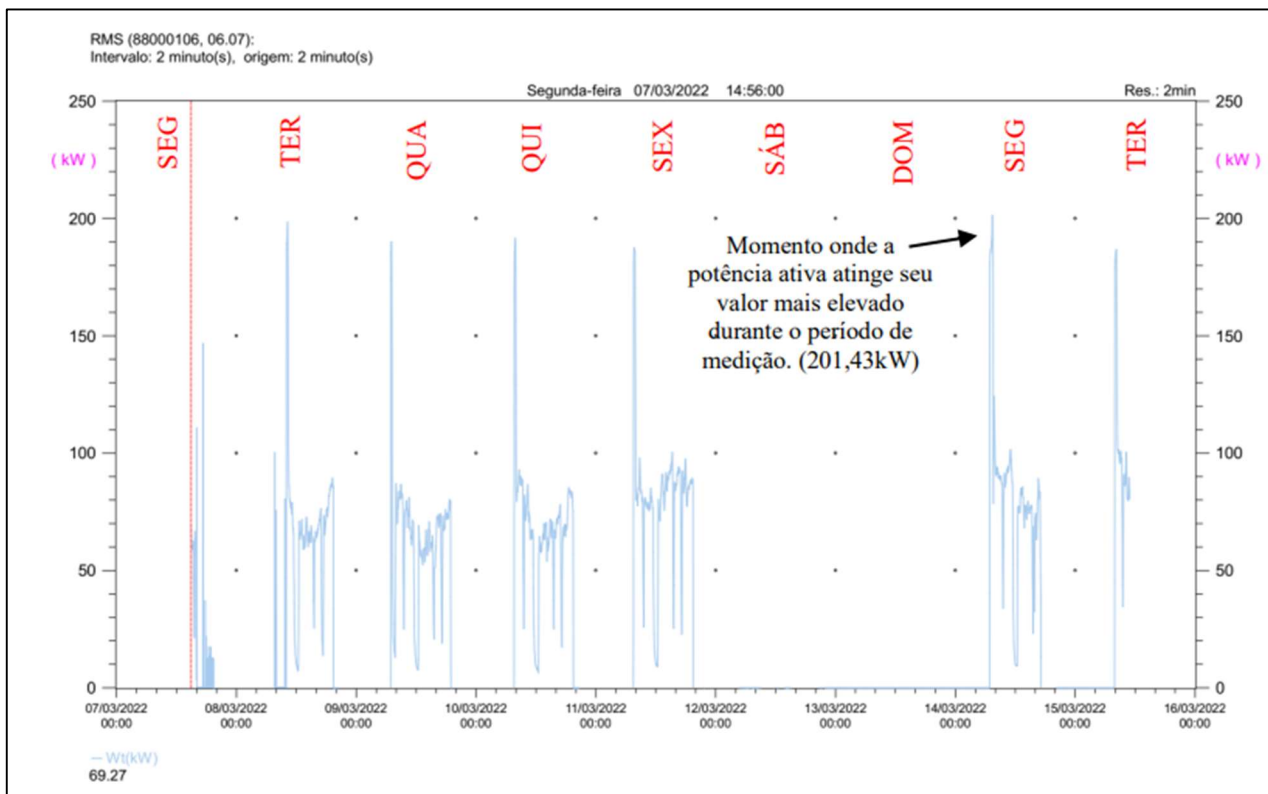
Tabela 11 – Potencia ativa máxima diária

<b>Data</b>	<b>Potência Ativa Máx (kW)</b>
Segunda-feira - Início 14h56	146,83
Terça-feira	198,63
Quarta-feira	190,12
Quinta-feira	191,73
Sexta-feira	187,65
Sábado	0
Domingo	0,03
Segunda-feira	201,43
Terça-feira - fim 10h58	186,8

Fonte: O autor, 2022

O Gráfico 02 apresenta o comportamento da potência ativa durante o período de testes.

Gráfico 02 – Potência máxima ativa



Fonte: O autor, 2022

Com os dados obtidos foi possível identificar a máxima potência ativa que ocorreu na segunda-feira, às 07h26, com o valor de 201,43 kW. Já a potência ativa média obtida durante o período de medição foi de 23,34 kW.

Atualmente, a linha de pintura e pré-tratamento trabalha dois turnos, que representa 17,6 h do dia. A base de cálculo utilizada foi de 22 dias úteis dentro do mês. A Tabela 12 ilustra os cálculos realizados referentes ao ganho energético médio consumindo 23,34 kW e o de pico que considera a primeira 0,75h do dia de *start* da linha (201,43 kW).

Tabela 12 – Cálculos redução energética 2

Saving energético médio		Saving energético de pico	
Horas/ dia	17,6	Horas/ dia	0,75
Dias/ mês	22	Dias/ mês	22
Meses/ ano	12	Meses/ ano	12
<b>Consumo/ hora</b>	<b>23,34</b>	<b>Consumo/ hora</b>	<b>201,43</b>
Carga hora/ mês	387,2	Carga hora/ mês	16,5
Horas/ ano	4.646	Horas/ ano	198
Consumo/ ano kWh	108.446,98	Consumo/ ano kWh	39.883,14
Custo kWh	R\$ 0,49	Custo kWh	R\$ 0,49
Saving	<b>R\$ 53.139,02</b>	Saving	<b>R\$ 19.542,74</b>

Fonte: O autor, 2022

Com esses dados compilados e mensurados, foi possível verificar que redução de consumo energético de pico foi de R\$ 19.542,74 por ano. Já a redução média de energia para manter o banho do estágio 1 aquecido nos dois turnos durante o ano é de R\$ 53.139,02.

## 5. CONCLUSÕES

Por meio do presente trabalho foi possível avaliar a aplicação de um pré-tratamento de pintura epóxi com a utilização de nanotecnologia ao invés de processos mais usuais, como o fosfato de ferro. Foi desenvolvido um trabalho de estudo de cenário, onde foi compilado todas as informações necessárias para a aplicação do nanocerâmico em uma linha de pintura eletrolítica que utilizava o processo com fosfato de ferro.

Seguindo as premissas do projeto, foram concluídos todos os objetivos específicos que permeavam o trabalho para conseguir desenvolver a aplicação do pré-tratamento de uma linha de pintura epóxi com nanotecnologia. O primeiro objetivo específico que era realizar os testes em amostras padrões seguindo as ISO'S 9227, 1519, 2409 para validar conceito com o Bonderite CC 42 foi realizado logo no princípio do trabalho. Seguindo a bibliografia dos testes ISO'S existiu uma pequena inconsistência no teste de flexão cilíndrica ISO 1519, uma das amostras testadas teve um pequeno descolamento do substrato de tinta como podemos ver na Figura 24. Essa reprova não foi impactante para cancelarmos o projeto, visto que foi uma única ocorrência dentre as amostras testadas.

Figura 24 – Amostra reprovada alongamento



Fonte: O autor, 2022

Com a validação do conceito de pré-tratamento utilizando o nanocerâmico, foi partido para a etapa de limites de concentrações. Essa fase foi de suma importância para que fosse possível concluir os outros objetivos específicos. Para validar o processo de pré-tratamento com o Bonderite CC 42, foi necessário definir com base nos testes normativos os limites percentuais superior e inferior de concentração. Foi definido com base nos testes normativos que os limites seriam: máximo de 1,50 % e mínimo de 0,50 %. Dentro desse intervalo de concentração, os corpos de prova pintados após sofrer o tratamento nanocerâmico apresentaram uma consistência de 100% de aprovação utilizando os testes ISO'S.

Por fim foi desenvolvido o comparativo financeiro entre o processo com a utilização do fosfato de ferro e com o Bonderite CC 42. Para essa etapa final foi dividido em três grandes grupos de ganhos, sendo eles: consumo de água, consumo de produtos e consumo energético. Em todos foi constatado ganhos significativos. No consumo de água foi reduzido 198.000 litros por ano, que representa uma redução anual de 33,33 %, somente considerando o desligamento do primeiro estágio do tanque e aumentando o tempo de troca e limpeza dos outros dois. A alteração dos produtos utilizados na formulação do fosfato de ferro para o nanocerâmico resultou em um ganho anual de aproximadamente R\$ 165.500,00. Mesmo com o valor do litro dos produtos nanocerâmicos serem mais caros, o consumo ao longo do tempo faz com que seja mais vantajoso para o processo testado fazer a migração para o Bonderite CC 42. E para o ganho energético foi medido o consumo do aquecedor que foi desativado no conjunto do primeiro tanque. A redução energética do aquecedor foi dividido em duas etapas, o de arranque que é no início do turno quando o motor é ligado, que fornece uma redução anual de R\$ 19.500,00. E o ganho de utilização médio do aquecedor, que também fornece uma redução anual de R\$ 53.100,00.

Com a conclusão do trabalho é possível afirmar que a troca da formulação de pré-tratamento utilizando o fosfato de ferro para o nanocerâmico Bonderite CC 42 é uma opção viável para linha de pintura da empresa testada. A alteração não afeta a qualidade dos testes normativos aprovando a pintura posterior nos substratos metálicos. E por fim, ainda existe uma redução financeira relacionada a todas as etapas do projeto, aproximadamente de R\$ 250.000,00.

## **6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

Devido a composição química do efluente (fosfato de ferro), hoje este é encaminhado para o tratamento e descarte em uma empresa externa especializada. A composição do novo produto possivelmente vai permitir o tratamento na própria Legrand. Fato este, que reduziria os custos com o descarte proporcionando um aumento do ganho do projeto.

Sugere-se para trabalhos futuros uma análise minuciosa das formas de tratar esse efluente para eliminar a dependência de empresas terceiras nesta etapa do processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ISO 1513: **Tintas e vernizes – exame e preparação de amostras de teste**, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ISO 1514: **Tintas e vernizes – painéis padrão para teste**, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ISO 1519: **Tintas e vernizes – teste de curvatura (mandril cilíndrico)**, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ISO 2808: **Tintas e vernizes – determinação de espessura de filme**, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ISO 1520: **Tintas e vernizes – teste de ventosa**, 2006.

BANCZEK E. P., RODRIGUES P. P., COSTA I., **The effects of niobium and nickel on the corrosion resistance of the zinc phosphate layers**. Surface & Coatings Technology, no 202, pp. 2008-20014, 2008.

BERTOL, Daniela. **Estudo da influência do tetraetoxisilano (TEOS) no revestimento de nanozircônio na proteção contra corrosão em aço galvanizado**. Tese (Doutorado Engenharia) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, 2019.

BOSSARDI, Kelly. **Nanotecnologia aplicada a tratamento superficiais para o aço carbono 1020 como alternativa ao fosfato de zinco**. Tese (Mestrado Engenharia) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, 2007.

BLANK, Brigitte. **Estudo comparativo do desempenho de um revestimento nanocerâmico à base de ácido hexafluorzircônio juntamente com o processo de polimerização visando a substituição do processo de fosfatização em uma empresa do setor automobilístico**. Tese (TCC) Engenharia de metalurgia – Universidade federal do Rio Grande do Sul, 2018.

DRONIOU P., WILLIAM E, **Nanoceramic based em conversion coating**. Organic Finishing, vol 103, no. 12, pp. 41-43, 2005.

FERNANDES, F.; MARIANO, R.; GNECCO, C. **Tratamento de superfície e pintura**. Instituto Brasileiro De Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço: Rio de Janeiro, 2003.

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

FRAUCHES-SANTOS, Cristiane et al. A corrosão e os agentes anticorrosivos. **Revista virtual de química**, v. 6, n. 2, p. 293-309, 2014.

KULOTHUNGAN, S., et al. **Assessment of factors influencing the transfer efficiency in electrostatic spray coating process**. Materials Today: Proceedings, 2022.



MAJDIA M. R., IMAN Danaeea, SEYYED Salman SEYYED Afghahib. **Preparation and Anti-Corrosive Properties of Cerium Oxide Conversion Coatings on Steel X52.** 15, 2017.

MATLAKHOV, Anatoliy Nikolaevich; MATLAKHOVA, Lioudmila Aleksandrovna. **Corrosão e Proteção dos Materiais.** Paco e Littera, 2021.

MOHAMMADLOO H. E., SARABI A. A., ALVANI A. S., SAMEIE H., SALIMI R., **Nano-ceramic hexafluorozirconic and based conversion thin film: Surface characterizatón and eletrochemical study.** Surface & Coatings Technology, vol. 206, pp. 4132-4139, 2012.

PEIXOTO, Marco Aurélio Milagres et al. Tratamento superficial de armamento leve do Exército Brasileiro: Estudo da influência das variáveis da operação de fosfatização. **VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, v. 30, n. 2, p. 2-13, 2020.

PERES, Rafael Silveira. **Propriedades anticorrosivas de camadas de conversão à base de taninos como pré-tratamento para o aço carbono 1020.** Tese (Mestrado Ciência dos Materiais) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, 2010.

SILVA S.D., **Curso de Pintura Industrial a Pó,** Informações Técnicas DT-13. 2009

## ANEXO A – RELATÓRIO ÁGUA DO POÇO

À

Razão social: GL ELETRO ELETRONICOS LTDA

CNPJ: 52.618.139/0022-21

ENDEREÇO: Rua Gérson Andréis, 1255 - Cidade Nova - Caxias do Sul/RS - CEP 95112-130

E-MAIL: aline.dertzbacher@legrand.com; paulo.viero@legrand.com

**RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 8138/2022**

Tipo de Amostra: Água de poço artesiano

Identificação da Amostra: Poço Tubular (DRH)

Local da Amostragem: Poço Tubular

Amostragem: Matheus dos Santos Oliveira - Fundação Proamb

Data da Amostragem: 31/08/22 14:34

Data da entrada no laboratório: 31/08/22 15:58

Início da análise: 31/08/22 16:05

Termino da análise: 09/09/22 15:51

Parâmetros Realizados no Centro de Análises Ambientais	Resultados Analíticos	Unidade	Método Analítico	LQ/Faixa
Dureza	87,2	mg/L	SMWW 2340 C 23ª Ed	4,0
Nitrogênio Total Kjeldahl	< 3,00	mg/L	SMWW 4500-Norg B e D 23ª Ed	3,00
Alcalinidade Total	87,9	mg/L	SMWW 2320 B 23ª Ed	5,0
Cloretos	7,02	mg/L	SMWW 4500-Cl- C 23ª Ed	2,50
Condutividade	218	µS/cm	SMWW 2510 B 23ª Ed	1,0
Cor aparente	< 5,00	UH	SMWW 2120 B 23ª Ed	5,0
Fluoretos	0,277	mg/L	SMWW 4500-F- B 23ª Ed	0,100
Nitrato	< 0,050	mg de N/L	ABNT NBR 12620:1992	0,050
Sólidos dissolvidos totais	173	mg/L	SMWW 2540 C 23ª Ed	5,0
Sulfato	1,94	mg/L	SMWW 3500-SO42- E 23ª Ed	0,500
Turbidez	0,160	NTU	SMWW 2130 23ª Ed	0,1
Alumínio	< 0,025	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,025
Cádmio	< 0,001	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,001
Cálcio	27,3	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,050
Chumbo	< 0,005	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,005
Cobre	< 0,005	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,005
Cromo Total	< 0,010	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,010
Ferro	< 0,025	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,025
Magnésio	2,37	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,025
Manganês	< 0,010	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,010
Potássio	1,88	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,050
Sódio	13,2	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,100
Zinco	0,031	mg/L	SMWW 3120 B 23ª Ed	0,025
Bactérias Heterotróficas	43,0	UFC/mL	SMWW 9215 E (5b) 23ª Ed	2
Coliformes totais (Qualitativo)	Presença	Em 100 mL	SMWW 9223 B (4a; c) 23ª Ed	-
<i>Escherichia coli</i> (Qualitativo)	Ausência	Em 100 mL	SMWW 9223 B (4a; c) 23ª Ed	-
Coliformes termotolerantes	< 1,10	NMP/100mL	SMWW 9221 (C; E), 23ª Ed.	1,1

Parâmetros Realizados nas Instalações do Cliente	Resultados Analíticos	Unidade	Método Analítico	LQ/Faixa
pH	7,17	-	SMWW 4500-H+ 23ª Ed	2,0 - 12,0
Temperatura da Amostra	19,64	°C	SMWW 2550 B 23ª Ed	1 a 40

**Notas:**

**LQ/faixa** – Limite de quantificação ou faixa de trabalho

**NMP** – Número Mais Provável

Turbidez

\*<: Ausência de crescimento microbiano conforme o limite de quantificação do método.

Parâmetro\*\* não Reconhecido na ISO 17025.

**NA** – Não aplicável

**UFC** – Unidade Formadora de Colônia

**NTU** - Unidade Nefelométrica de

**FT** - Fator de Toxicidade

Relatório de Amostragem em anexo nº 8138/2022

FR042-GQ rev05

**Abrangência:**

Os resultados contidos neste relatório referem-se somente a amostra conforme recebida. O relatório de ensaio só deverá ser reproduzido na íntegra, não deve ser parcialmente reproduzido sem a prévia autorização por escrito do Centro de Análises Ambientais.

Bento Gonçalves, 09 de setembro de 2022.



Para confirmação da autenticidade e verificação do relatório de ensaio na íntegra, acesse o link <http://relatorioscaa.proamb.com.br:85/> e insira o Código de assinatura eletrônica, indicado abaixo, no campo "Código de Segurança" na aba "Verificação de Autenticidade".

Código de assinatura eletrônica: 7F96EE014F7AFF5F8277EB4EE001F880

**Grasiela Fittarelli Meneghetti**

Gerente Técnica  
CREA/RS 210515

**Marily Wirti**

Supervisora Técnica  
CREA/RS 231713