

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

EDUARDA ANDRADE DE BRITO

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE TINTAS PARA
TRANSFORMADORES**

CAMPINAS/SP
2024

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

EDUARDA ANDRADE DE BRITO

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE TINTAS PARA
TRANSFORMADORES**

Trabalho de Graduação apresentado por Eduarda Andrade de Brito, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação do Prof. Dr. Fábio Aurélio Bonk

CAMPINAS/SP
2024

FICHA CATALOGRÁFICA
CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca

B862c

BRITO, Eduarda Andrade de
Características físico-químicas de tintas para transformadores.
Eduarda Andrade de Brito. Campinas, 2024.
49 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Processos Químicos
Faculdade de Tecnologia de Campinas.
Orientador: Prof. Dr. Fábio Aurélio Bonk.

1. Corrosão. 2. Salt Spray. 3. Tintas. 4. Transformadores. I. Autor. II.
Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 660

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ 24.2

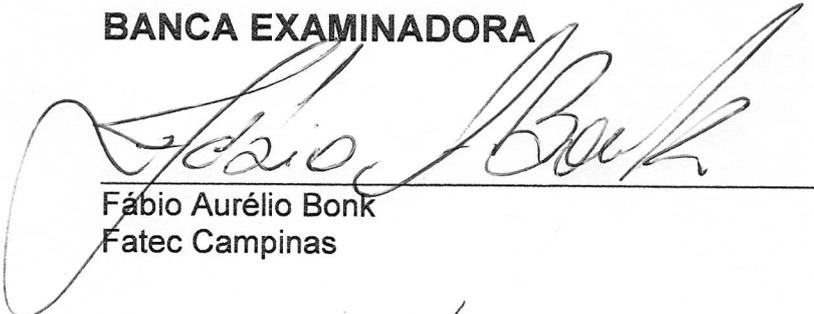
Eduarda Andrade de Brito

Características físico-químicas de tintas para transformadores

Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 03 de dezembro de 2024.

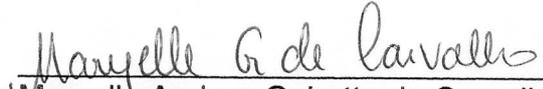
BANCA EXAMINADORA



Fábio Aurélio Bonk
Fatec Campinas



Bráulio Almeida de Melo
Fatec Campinas



Maryelle Andrea Gobatto de Carvalho
Fatec Campinas

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, cuja presença sempre iluminou meus caminhos e me sustentou em cada desafio, permitindo que eu chegasse até aqui com fé e determinação. Sem Sua força e bênçãos, este trabalho não seria possível.

Aos meus pais e familiares, meu agradecimento mais profundo e sincero. Vocês foram minha base e minha proteção, oferecendo apoio incondicional, amor e compreensão em cada passo da minha jornada. A paciência, o carinho e o incentivo de vocês foram fundamentais para que eu nunca perdesse a motivação, mesmo nos momentos mais difíceis em que eu pensei que não daria certo. Agradeço também aos meus amigos, que estiveram ao meu lado, oferecendo palavras de encorajamento e sempre prontos a compartilhar momentos de alegria e superação.

Gostaria de expressar minha imensa gratidão à equipe do meu trabalho e à Advance Tintas e Vernizes, por terem me acolhido e apoiado de maneira tão generosa. Agradeço à empresa por proporcionar um ambiente de aprendizado e crescimento, onde pude desenvolver minhas habilidades e por todo suporte que me ofereceram.

Aos colegas e amigos de trabalho, em especial, minha gerente, Fernanda Silva de Mello, minha coordenadora, Andréia Marinho André, e a analista e assistente, Ana Frizarini Teixeira e Beatriz Alves, meu sincero obrigado. Vocês foram muito mais do que colegas de trabalho; foram mentores, exemplos e grandes incentivadores. A cada dia, me ensinaram lições valiosas com seu conhecimento, paciência e disponibilidade para ajudar. Cada orientação e apoio me impulsionaram a superar limites e realizar este trabalho com confiança e qualidade.

A todos que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho, deixo aqui meu mais profundo e sincero agradecimento. Cada um de vocês faz parte desta conquista, e sou eternamente grata por tudo o que me proporcionaram nesta jornada.

DEDICATÓRIA

A Deus, por me dar forças nos momentos mais difíceis, sustentando-me quando pensei em desistir e iluminando meu caminho com esperança e propósito.

Aos meus pais, que, com amor e dedicação infinitos, fizeram o impossível para que eu pudesse alcançar este momento. Obrigado por cada sacrifício silencioso, por acreditarem em mim e por serem meu porto seguro em cada passo desta jornada.

Ao meu orientador, que enxergou potencial não só neste trabalho, mas também em mim, e me inspirou a ir além.

RESUMO

A história da tinta acompanha a evolução humana, desde os pigmentos naturais nas cavernas até as tintas modernas, que servem tanto para expressão artística quanto para proteção de estruturas. A inovação constante aprimorou seu papel estético e funcional. Este trabalho tem como objetivo investigar as propriedades físico-químicas das tintas utilizadas na proteção de transformadores, com foco em tintas bicomponentes. As tintas desempenham um papel crucial na proteção contra corrosão, garantindo a durabilidade e a segurança dos transformadores, que são essenciais na distribuição de energia elétrica. O estudo envolveu a análise de duas amostras de tintas: um *primer* epóxi com alto teor de zinco e um acabamento de poliuretano. Testes de viscosidade, massa específica e resistência à corrosão (*Salt Spray*) foram realizados para avaliar as características dessas tintas. Os resultados mostraram que ambas as amostras atenderam aos requisitos normativos, oferecendo alta resistência à corrosão e estabilidade ao longo dos testes. O desempenho superior das tintas no ensaio de névoa salina demonstrou sua eficácia na proteção de superfícies metálicas, especialmente para equipamentos elétricos expostos a condições ambientais severas. Este estudo contribui para o desenvolvimento de diretrizes técnicas e reforça a importância da escolha adequada de tintas para melhorar a durabilidade dos transformadores, além de sugerir futuras pesquisas voltadas ao aprimoramento das formulações de tintas e à sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Corrosão; *Salt Spray*; Tintas; Transformadores.

ABSTRACT

The history of paint follows human evolution, from natural pigments in caves to modern paints, which are used both for artistic expression and to protect structures. Constant innovation has improved its aesthetic and functional role. The aim of this work is to investigate the physical and chemical properties of paints used to protect transformers, with a focus on two-component paints. Paints play a crucial role in corrosion protection, guaranteeing the durability and safety of transformers, which are essential in electricity distribution. The study involved the analysis of two paint samples: an epoxy primer with a high zinc content and a polyurethane finish. Viscosity, specific mass and corrosion resistance (salt spray) tests were carried out to evaluate the characteristics of these paints. The results showed that both samples met the regulatory requirements, offering high corrosion resistance and stability throughout the tests. The superior performance of the paints in the salt spray test demonstrated their effectiveness in protecting metal surfaces, especially for electrical equipment exposed to harsh environmental conditions. This study contributes to the development of technical guidelines and reinforces the importance of the proper choice of paints to improve the durability of transformers, as well as suggesting future research aimed at improving paint formulations and the sustainability of transformers.

Keywords: Corrosion; Salt Spray; Paints; Transformer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos pigmentos inorgânicos	15
Figura 2 - Representação esquemática de um transformador.....	18
Figura 3 - Fluxograma da misturação de uma tinta.....	19
Figura 4 - Avaliação do esquema de pintura com 304 horas	25
Figura 5 - Avaliação do esquema de pintura com 486 horas	26
Figura 6 - Avaliação do esquema de pintura com 720 horas	26

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos tipos de aditivos e suas funções em tintas.	16
Quadro 2 – Classificação dos tipos de solventes e seus compostos em tintas	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados das análises das amostras de tinta	23
--	----

LISTA DE ABREVIACOES

NBR	Norma Brasileira
KU	<i>Krebs Unit</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades

LISTA DE SÍMBOLOS

\bar{x} média aritmética

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivos específicos.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	COMPOSIÇÃO DAS TINTAS	14
2.1.1	Resinas	14
2.1.2	Pigmentos	14
2.1.3	Aditivos	15
2.1.4	Solventes	16
2.2.	TRANSFORMADOR.....	17
2.3	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA TINTA	18
2.4.	TINTAS MONOCOMPONENTES E BICOMPONENTES	19
2.5.	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS TINTAS	19
3	METODOLOGIA	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	23
4.2	TESTE NO “SALT SPRAY”	24
5	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
	ANEXOS	31

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A história da tinta caminha junto com a própria história da humanidade, desde as primeiras pinturas rupestres até as cores vibrantes que contemplam nosso mundo hoje. É um conto de inovação, criatividade e busca incessante por formas de expressão. Há cerca de 40.000 anos atrás, os primeiros *Homo sapiens* usaram pigmentos naturais de ocre, hematita, carvão e óxido de manganês para criar pinturas nas paredes das cavernas. Os egípcios, por exemplo, dominavam a arte da fabricação de tintas, utilizando pigmentos minerais e vegetais para criar cores vibrantes em suas pinturas e hieróglifos. Já os chineses e japoneses desenvolveram o nanquim, a primeira tinta para escrita, feita a partir de fuligem e goma. Com o avanço da tecnologia, novas técnicas de produção de tintas e pigmentos inovou a forma de expressar na arte e na cultura (MELLO, V. M.; Suarez, P. A. Z., 2012).

Mas além da tinta ser um meio expressão artística e de comunicação, assume um papel fundamental na proteção de diversos equipamentos e estruturas. Sua função vai além da estética, oferecendo uma camada resistente contra os elementos do tempo, agentes químicos e até mesmo o desgaste natural.

No caso específico dos transformadores, peças essenciais na distribuição de energia elétrica, a tinta se torna uma aliada crucial para garantir sua durabilidade e segurança, pois ela auxilia na proteção contra a corrosão, gera isolamento térmico, uma segurança elétrica e redução de manutenção.

1.2 JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA

Este trabalho tem como foco a análise das características necessárias para tintas destinadas a transformadores, uma vez que esses produtos apresentam propriedades físico-químicas essenciais para a proteção contra corrosão e degradação, além de garantir a segurança elétrica dos equipamentos. Contudo, foi observado que há uma escassez de literatura específica sobre o tema, o que torna este estudo ainda mais relevante.

Além disso, muitas das informações utilizadas foram obtidas a partir de dados da empresa Advance Tintas e Vernizes, localizada na cidade de Indaiatuba, São Paulo, coletados

mediante a assinatura de um termo de confidencialidade. Este trabalho, portanto, não apenas busca contribuir para o desenvolvimento de diretrizes técnicas e a seleção criteriosa de tintas para transformadores, mas também destaca a importância de uma análise aprofundada sobre o tema, promovendo a segurança e eficiência nos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, ao mesmo tempo em que considera a sustentabilidade ambiental.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é investigar quais as propriedades físico-químicas que constituem uma tinta utilizada para a pintura de transformadores, garantindo a proteção eficaz contra corrosão e degradação ambiental.

1.3.1 Objetivos específicos

- Aplicar teste de avaliação como massa específica, viscosidade e teste de estabilidade, onde avalia a sedimentação e a separação de fase;
- Executar o teste de névoa salina com aplicação a pistola e com o método “*flooding*”, para assegurar que estejam em conformidade com a Norma NBR 5440 onde verifica a pintura do tanque do transformador;
- Aplicar testes de avaliação para medir essas propriedades e assegurar que estejam em conformidade com os padrões industriais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPOSIÇÃO DAS TINTAS

As tintas têm uma composição líquida, com aspecto fluido ou viscoso, que quando aplicadas em uma fina camada sofrem um processo de cura e se aderem ao substrato, esta fina camada recebe o nome de filme e tem a finalidade de proteger e embelezar. Em resumo, a tinta é constituída de quatro itens básicos: resina, pigmento, aditivo, solvente. (Leite, 2004).

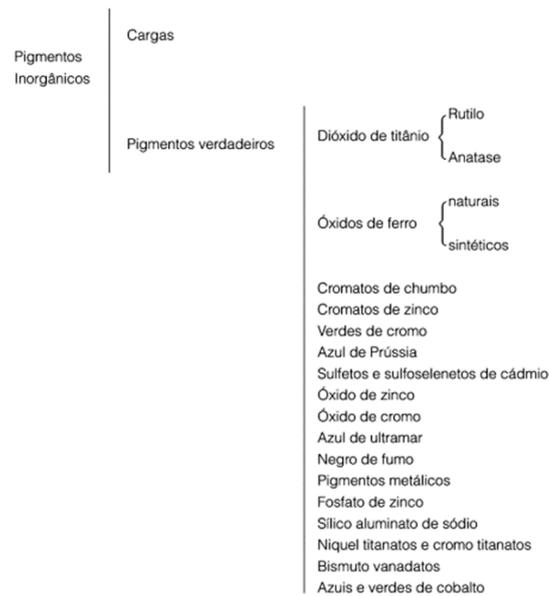
2.1.1 Resinas

Segundo Daniel Sutti, (2016), mestre em engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, diz que a resina é a “alma” da tinta, é um produto não volátil, responsável pela formação do filme e de trazer as características finais da cura, ela também pode ser caracterizada pelo tipo de tinta, como por exemplo, tintas alquídicas, acrílicas e etc. Nos tempos antigos, as resinas eram feitas de componentes extraídos de vegetais ou animais. Com o avanço da tecnologia, é possível obter através de reações complexas, o que gera polímeros que oferecem maior durabilidade e resistências as resinas, se comparada com os naturais.

2.1.2 Pigmentos

Para Veloso, 2012, os pigmentos são divididos em orgânicos e inorgânicos, estes são responsáveis pela coloração, opacidade e outras características de resistências. O índice de refração está correlacionado a cobertura (capacidade da tinta para revestir o substrato), desta forma, os pigmentos coloridos devem ter o índice de refração superior a 1,5. São categorizados como pigmentos inorgânicos, os pigmentos brancos e uma grande gama de pigmentos coloridos, sejam eles de origem sintética ou natural, e são pertencentes à classe química dos compostos inorgânicos como demonstrado na figura abaixo.

Figura 1 - Classificação dos pigmentos inorgânicos



Fonte: Tintas – ciência e tecnologia / Jorge M. R. Fazenda, coordenador –4ª edição rev. e ampl. – São Paulo: Blucher, 2009.

Os pigmentos orgânicos possuem uma característica química de grupamentos que são chamados cromóforos, e eles causam a coloração. E existe também um grupamento denominado auxocromos, que são responsáveis por modificar e/ou intensificar as cores.

Existe também um subitem dentro de pigmentos, conforme observado na figura 1, que são as cargas, que exercem um papel importante em algumas tintas. As cargas são minerais naturais, que antigamente eram usadas para reduzir custos de matérias-primas, mas com o avanço da tecnologia, estes minerais passaram por modificações e melhorias em suas características para auxiliares nas funções das tintas. Em tintas para transformadores suas funções são: resistência ao craqueamento, resistência à abrasão, aumento da resistência à corrosão e em propriedades elétricas e dureza do filme. (ALVARENGA, 2006)

2.1.3 Aditivos

Para Fazenda (2009, p.496) os aditivos, mesmo em quantidade menores, tem um impacto importante para as tintas, eles impactam na estabilidade, aplicabilidade, qualidade e aspecto do filme aplicado. Em muitas tintas a quantia total de aditivos atinge 5% da composição. Este produto apresenta vários mecanismos de atuação, e devido a heterogeneidade do sistema de tinta, um aditivo pode ter diferentes funções que devem ser analisadas. A classificação dos tipos de aditivos e suas funções são mostrados no quadro a seguir:

Quadro 1 – Classificação dos tipos de aditivos e suas funções em tintas.

Tipos de aditivos	Funções
Aditivos de cinética	Secantes
	Catalisadores
	Anti-peles
Aditivos de processos	Surfactantes
	Umectantes e dispersantes
	Antiespumantes
	Nivelantes
Aditivos de reologia	Espessantes
	Antiescorrimento
Aditivos de preservação	Biocidas
	Estabilizantes de ultravioleta

Fonte: Autoria própria. Com informações coletadas de “Tintas – ciência e tecnologia / Jorge M. R. Fazenda, coordenador –4ª edição rev. e ampl. – São Paulo: Blucher, 2009.”

2.1.4 Solventes

Segundo Fazenda (2009, p.558) os solventes têm a função de dissolver ou solubilizar os outros materiais que são adicionados para a produção da tinta, além de manter a mistura homogênea, eles também auxiliam no alcance da viscosidade desejada para realizar a aplicação da tinta. Assim, o solvente pode ser utilizado como um agente solubilizante ativo ou apenas como um diluente. Existe uma classificação de solventes, como mostrado no quadro abaixo:

Quadro 2 – Classificação dos tipos de solventes e seus compostos em tintas.

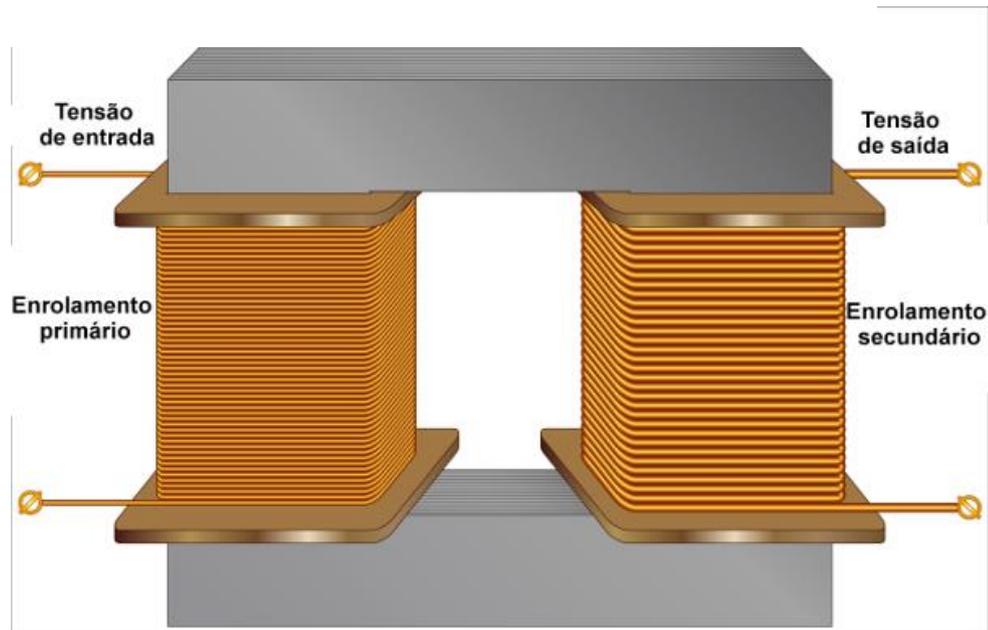
Classificação de solventes	Composto	Exemplo
Hidrocarboneto	Alifático	Aguarrás mineral
	Aromático	Xileno, Tolueno
	Terpênico	Mentol
Solventes oxigenados	Álcool	Etílico
	Éster	Acetato de etila
	Éter glicólico	Metoxipropanol
	Cetona	Metiletilcetona
Outros	Éter	Tetraidrofurano (THF)
	Nitroparafina	Nitrobenzeno

Fonte: Autoria própria. Com informações coletadas de “Tintas – ciência e tecnologia / Jorge M. R. Fazenda, coordenador – 4ª edição rev. e ampl. – São Paulo: Blucher, 2009.”

2.2. TRANSFORMADOR

Os quatros itens citados anteriormente (resina, pigmentos, aditivos e solventes), são fundamentais para a produção de tinta para transformadores. No mercado atual, existe uma vasta gama de tintas para transformadores, já que também há diversos tipos de transformadores, como: Transformador de corrente, transformadores de potencial, transformador de distribuição, transformadores de força, transformador elevador e abaixador de tensão, transformador a seco e transformador regulador de tensão. Em resumo, são dispositivos que aumentam ou diminuem determinado valor de tensão elétrica, e são formados por um núcleo e duas bobinas. O núcleo do transformador é fabricado com um material altamente magnetizável. As bobinas, denominadas primária e secundária, são compostas por um número diferente de espiras, as quais são eletricamente isoladas entre si. A bobina primária é responsável por receber a tensão da rede elétrica, enquanto a bobina secundária fornece a tensão transformada, ou seja, com um valor diferente daquele da tensão de entrada, como demonstrado na figura 2. (JORDÃO, 2008)

Figura 2 - Representação esquemática de um transformador

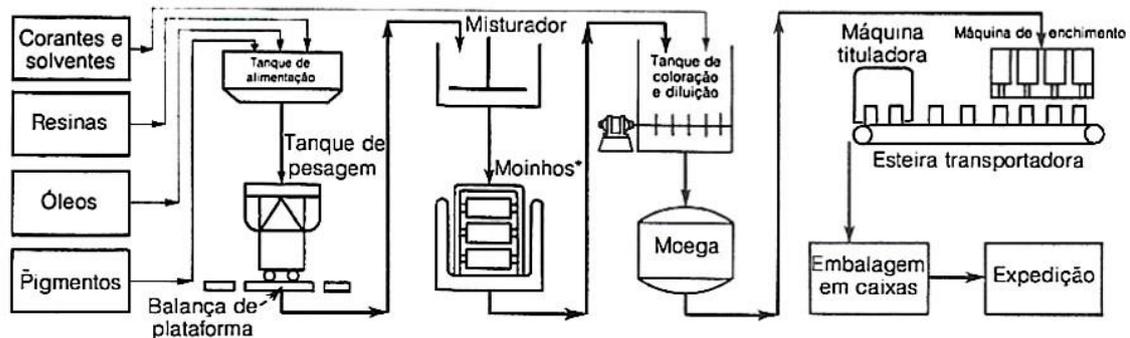


Fonte: HELERBROCK – Brasil Escola (2019).

2.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA TINTA

O processo de produção de tintas, conforme a figura 3, os materiais como a resina, cargas, aditivos e solventes adicionados a um tanque de pesagem, colocados em um misturador para homogeneizar os produtos, cada componente é adicionado em uma ordem e uma quantidade específica para a produção de uma determinada tinta e depois são encaminhados para um moinho. No moinho se realiza a moagem e dispersão dos componentes da base líquida da tinta, onde são dispersados por um tempo estabelecido e logo em seguida, recebem a coloração com os corantes e pigmentos e diluição com solventes para seguir os padrões do boletim técnico da tinta, e por fim, passam na moega para ver se todos os produtos foram diluídos. No meio do processo, essa tinta é analisada no controle de qualidade onde passará por testes como massa específica, viscosidade, aplicações, e dentre outros testes. E se estiver de acordo com as especificações, a tinta vai para o envase e logo depois para a expedição. (NORRIS, S. R.; JOSEPH, A. B.,1997).

Figura 3 - Fluxograma da misturação de uma tinta.



NOTA: Em virtude de uma fábrica completa de tintas consumir mais de 2.000 diferentes matérias-primas e produzir cerca de dez vezes mais variedades de produtos acabados, não é possível dar rendimentos etc.

** São usados, numa mesma fábrica, diversos tipos de moinhos, em série ou em paralelo. Alguns são moinhos de bolas e dispersores a alta velocidade, outros são moinhos de três ou de cinco rolos de aço.*

Fonte: NORRIS, S. R; JOSEPH, A. B. (1997).

2.4. TINTAS MONOCOMPONENTES E BICOMPONENTES

As tintas monocomponentes, como o nome já diz, são formuladas com um único componente que irá trazer a cura do produto, onde não acontece adição de endurecedores ou catalisadores. Elas secam por evaporação de solventes ou pela ação do ar, o que as torna fáceis de usar e prontas para aplicação imediata. Essa facilidade de uso se traduz em rapidez na aplicação, ideal para projetos onde o tempo é um fator crítico. No entanto, sua durabilidade é moderada, e podem não oferecer resistência suficiente a agentes químicos e mecânicos, limitando seu uso em ambientes exigentes. Geralmente, são indicadas para pinturas internas, móveis e acabamentos em áreas menos exigentes. (BRAGATTO, 2018)

Por outro lado, as tintas bicomponentes são compostas por dois componentes: a tinta base e um catalisador. A mistura desses componentes ativa uma reação química que resulta na cura do produto. Essa cura química proporciona alta durabilidade, tornando as tintas bicomponentes mais resistentes a produtos químicos, abrasão e intempéries. Contudo, a aplicação dessas tintas exige mais cuidado, já que o tempo de trabalho após a mistura é limitado. Além disso, seu custo inicial é mais elevado devido à necessidade de dois componentes. As tintas bicomponentes são amplamente utilizadas na indústria automotiva, em equipamentos pesados e em superfícies que requerem alta resistência. (ALVES, 2024)

2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS TINTAS

A viscosidade é uma propriedade dos líquidos que se refere à sua capacidade de fluir. Quanto maior a viscosidade de um líquido ou solução, mais difícil é seu fluxo, caracterizando-o como "viscoso" (Brunetti, 2008), a viscosidade pode ser influenciada por diversos fatores como composição química, pressão e temperatura. Existem atualmente no mercado, uma vasta gama de equipamentos que são capazes de determinar a viscosidade, temos como exemplo o viscosímetro Copo Ford onde a viscosidade é determinada a partir do tempo que a tinta demora para escoar completamente do orifício do equipamento, no qual sua medição é feita em segundos. O viscosímetro rotacional é utilizado na análise, imergido o produto em uma hélice rotativa (chamada de "*spindle*"), no qual, sua hélice começa a girar e a tensão de cisalhamento interna do fluido é medida pelo equipamento. (Empresa: SPLABOR, 2024)

A massa específica, também conhecida como densidade é a relação entre a massa e o volume de uma determinada amostra. No Sistema Internacional de Unidades ela é expressa em Kg/m^3 . A realização desta análise é feita em um equipamento chamado picnômetro, podendo ser de material de metal ou de vidro, no caso de análise em tintas, existe a NBR 5829 (Anexo A), que prescreve como deve ser realizado, desde a sua calibração até a validação do teste. (JÚNIOR, 2016)

Teste *Salt Spray* também chamado como Ensaio de Corrosão, é uma metodologia empregada para avaliar a resistência à corrosão de metais sob condições climáticas controladas. Esse procedimento simula um ambiente úmido e marítimo, acelerando o processo corrosivo e fornecendo informações importantes sobre o desempenho dos materiais em situações reais, onde a interação entre sal e umidade potencializa a corrosão. Durante o ensaio, a amostra é exposta a uma câmara que dispersa uma névoa salina composta por cloreto de sódio em água. Essa avaliação é essencial para selecionar revestimentos de tintas em superfícies metálicas de qualidade e garantir alta resistência à corrosão. (Empresa: ADDITIVA, 2023). Segundo a NBR 5440 de 2014, "O tanque de transformador deve resistir a 500 h de exposição contínua ao ensaio de névoa salina (solução a 5 % de NaCl em água). Não podendo ocorrer empolamento, e a penetração máxima sob os cortes traçados deve ser de 4 mm."

3 METODOLOGIA

Este trabalho de graduação busca analisar as características físico-químicas de tintas para transformadores por meio de uma análise experimental. Serão utilizadas duas amostras doadas pela a empresa Advance Tintas deste tipo de tinta, a amostra A será um *primer* epóxi com alto teor de zinco com proteção catódica e a amostra B uma tinta de sistema de poliuretano de acabamento de alto sólidos, para realizar as análises comentadas na revisão bibliográfica será realizado uma elaboração de um delineamento experimental com o intuito de avaliar as características. Ambas as tintas são bicomponentes, sendo assim será utilizado também catalisador específicos dessas tintas. Será aplicado o *primer* epóxi com alto teor de zinco, seguido pela aplicação do acabamento de altos sólidos, respeitando o intervalo de repintura especificado nos boletins técnicos (Em razão do termo de confidencialidade, não é possível anexar os boletins técnicos a este trabalho de graduação).

Primeiramente, será realizado o teste de estabilidade, o qual se avalia a sedimentação e separação de fase quando as tintas são colocadas em embalagens menores, fechadas e expostas a 48 horas a 60°C em uma estufa. A avaliação de viscosidade será realizada utilizando o equipamento chamado Viscosímetro Krebs Stormer BGD 186 e a massa específica, seguindo a NBR 5829 (Anexo A). Será também realizada aplicação de pistola, e aplicação do método “*Flooding*” (traduzida do inglês, significa inundação). Nas tintas, esse processo é realizado, jorrando a tinta por todo o substrato, para garantir a cobertura de todas as partes. Os testes seguirão a regulamentação da NBR11388/90, NBR 5440 e NBR 8094, que regulamenta os sistemas de pintura para equipamentos e instalações de subestações elétricas. Nas mesmas, são descritos os esquemas de pintura indicados para cada equipamento e instalação elétrica, incluindo, principalmente, os transformadores. As normas também regulamentam os resultados mínimos esperados de corrosão, quando os sistemas de pintura forem expostos à testes em câmaras climáticas. Um dos testes que será realizado é de névoa salina (*Salt spray*), que seguirá também a regulamentação da NBR 5440 (anexo D).

Para o teste de *Salt Spray*, as aplicações foram realizadas sobre painéis com dimensões de 10 x 25 cm, de aço carbono jateado ao metal quase branco com rugosidade de 70 a 100 μm . Para tal atividade foram utilizadas as duas amostras de tintas doadas, que será denominado esquema de pintura, seguindo as instruções de catálise, homogeneização, tempo de indução, diluição, espessura média por demão e intervalo de repintura de acordo com os boletins técnicos

de cada produto. Após a cura do esquema, realizou-se um risco sobre a tinta até atingir o substrato, chamado de entalhe e foi colocado no equipamento com um ciclo de teste de 720 horas.

A metodologia das análises de estabilidade, viscosidade, “Flooding” são de posse da empresa Advance Tintas, a qual solicitou um acordo de confidencialidade. Diante disso, este trabalho apresentará apenas os resultados das análises realizadas durante o projeto de graduação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES FISÍCO-QUÍMICAS

Após realizar as análises como viscosidade, massa específica, utilizando os instrumentos citados no item 2.5, os resultados obtidos se encontram na tabela abaixo. Abaixo dos resultados encontrados, encontra-se as especificações mínimas e máximas para cada amostra de tinta testado. Essas especificações foram determinadas internamente, na empresa Advance Tintas, através de outras pesquisas e não podem ser divulgadas.

É importante destacar, que resultados fora das especificações podem impactar diretamente o desempenho final da aplicação. Esse desvio pode ocasionar problemas como fervura, caracterizada pela formação de pequenas bolhas de ar na superfície, resultando em um aspecto enrugado e desnivelado.

As análises foram realizadas separadamente para cada tipo de amostra, conforme apresentado na tabela abaixo. Para a execução do esquema de pintura, inicialmente foi aplicado o primer epóxi com alto teor de zinco. Após o intervalo de repintura recomendado, procedeu-se com a aplicação do sistema de acabamento em poliuretano.

Tabela 1- Resultados das análises das amostras de tinta

Testes realizados	Primer epóxi com alto teor de zinco	Sistema de poliuretano de acabamento
Viscosidade - Parte A+B*	109 KU (95-115 KU)	126 KU (120 - 130 KU)
Massa específica - Parte A+B	1,95 g/cm ³ (1,90 - 1,96 g/cm ³)	1,38 g/cm ³ (1,35 - 1,55 g/cm ³)
Sedimentação (Nota: 0-10) **	10	10
Separação de fase (Nota: 0-10) **	9	9,5
Espessura da aplicação pistola+flooding	$\bar{x} = 150 \mu\text{m}$ (100 - 170 μm)	$\bar{x} = 120 \mu\text{m}$ (70 - 120 μm)

*Parte A+B significa a junção da tinta mais seu componente catalisador, resultando na catálise da tinta

**Considerando uma faixa de nota de 0 a 10, onde o 0 é um resultado insatisfatório ocorrendo muita sedimentação e separação de fase e 10 considerando resultados satisfatórios.

Fonte: Autoria própria.

A partir da tabela, observou-se que os resultados estão de acordo com o que é especificado nas normas internas da empresa. Percebe-se também que foram obtidos resultados positivos no teste de sedimentação, vale ressaltar que por serem tintas com alto teor de cargas minerais, há o risco da tinta permanecer muito tempo parada sem uma homogeneização adequada com isso, as cargas se separem dos outros componentes ocorrendo o processo de sedimentação no fundo do galão. Contudo, neste teste, observou-se que as amostras não apresentaram tal aspecto. Na análise de separação de fase, observou-se que houve uma pequena separação do solvente na parte de cima da tinta, uma hipótese levantada é por conta do solvente ser volátil, o qual evapora rapidamente, devido a embalagem utilizada estar bem vedada, o solvente separou-se da mistura, e devido o mesmo ser um produto de densidade menor ele apresentou-se na parte superior, porém como não houve uma separação de fase significativa, ao realizar a homogeneização, avaliou-se que o solvente incorporou novamente a tinta, tornando-se homogênea.

4.2 TESTE NO “SALT SPRAY”

Para realizar o teste de *salt spray* em tintas, é fundamental preparar adequadamente o substrato. Neste procedimento, utilizaram-se painéis de aço carbono que foram submetidos a jateamento com granalhas de aço carbono para evitar qualquer corrosão prévia que pudesse comprometer o teste.

Em seguida, foi realizada a preparação do *primer* epóxi com alto teor de zinco (amostra A) utilizando uma parte em volume da amostra, para uma parte em volume da parte B (Catalisador específico deste *primer*) e 35% de diluição do diluente específico, conforme as proporções indicadas no boletim técnico. Após a mistura, aplicou-se a amostra do *primer*, utilizando uma pistola de pintura para garantir uniformidade na aplicação. Após esperar o intervalo de repintura de 6 horas, como citado no boletim técnico.

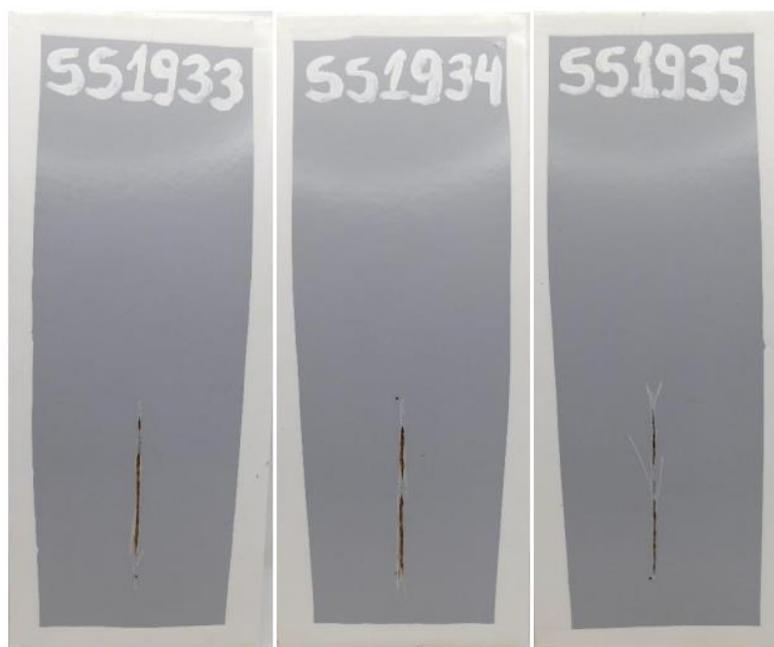
Depois de aguardar o intervalo de repintura, foi preparada a tinta de sistema de poliuretano de acabamento com altos sólidos (amostra B) com 10 partes em volume da parte A (amostra B), para uma parte em volume de parte B (catalisador), seguindo suas indicações do boletim técnico com diluição de 35% utilizando o diluente específico. Foi realizada a aplicação de uma camada utilizando uma pistola de pintura e, para assegurar uma cobertura uniforme de todas as áreas dos painéis, utilizou o método "*flooding*", citado na metodologia, item 3. Após

respeitar o tempo de cura da tinta, estabelecido em 3 dias em temperatura ambiente, foi avaliada a espessura do revestimento, constatando-se que esta estava controlada e dentro das especificações indicadas nos boletins técnicos.

Foi realizada a aplicação de uma borda ao redor dos painéis com o objetivo de protegê-los e garantir que eventuais interferências externas não impactassem nos resultados do teste. Antes do início do teste, foi feito também uma incisão em linha reta até o substrato para avaliar a resistência à corrosão nas áreas expostas.

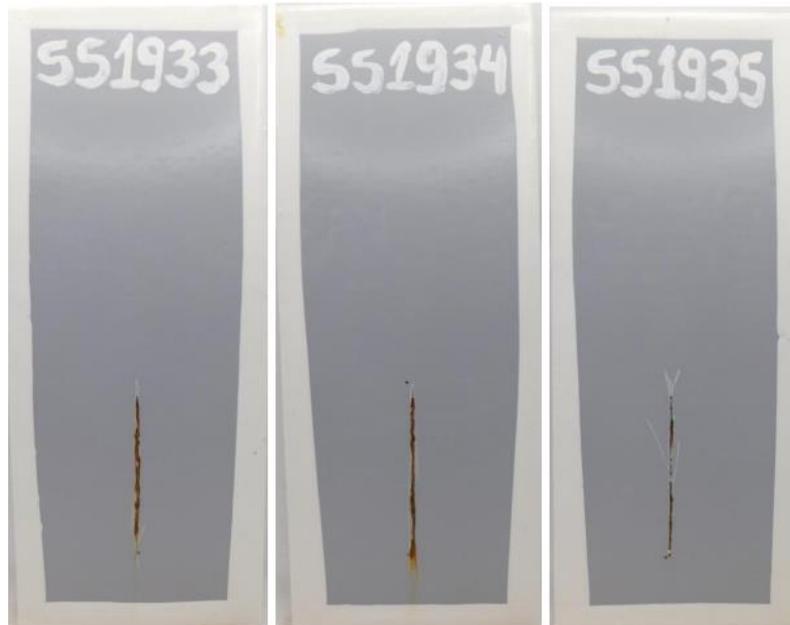
O esquema de pintura feito com as duas amostras, de acordo com a norma e com padrões estabelecidos pela empresa são para assegurar uma melhor validação do teste, e portanto é necessário aplicar o esquema de pintura (feito com as duas amostras) em três painéis. Essa abordagem visa garantir a confiabilidade dos resultados obtidos durante a avaliação. Assim, com o início do teste, os painéis passaram por um ciclo dentro do equipamento e foi avaliado com 304 horas (aproximadamente 12 dias de teste), 486 horas (20 dias de teste) e se encerrou com 720 horas (30 dias de teste). Em cada avaliação, foi registrado o avanço de corrosão no entalhe nas figuras 4,5 e 6.

Figura 4 - Avaliação do esquema de pintura com 304 horas



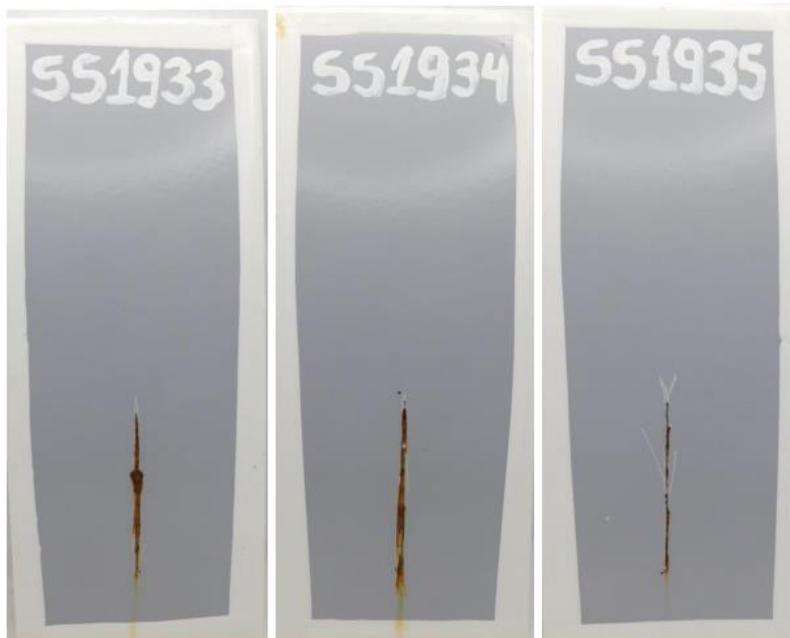
Fonte: Arquivos internos da empresa *Advance Tintas*.

Figura 5 - Avaliação do esquema de pintura com 486 horas



Fonte: Arquivos internos da empresa *Advance Tintas*.

Figura 6 - Avaliação do esquema de pintura com 720 horas



Fonte: Arquivos internos da empresa *Advance Tintas*.

Observa-se que toda a extensão do painel sem a presença do entalhe manteve-se sem nenhuma corrosão, na região do corte, não houve um alastramento da corrosão.

Com um auxílio de um paquímetro digital, foi medido a região em torno do entalhe para avaliar a penetração máxima da corrosão e obteve-se os seguintes resultados: painel 1933 teve 0,42 mm, painel 1934 teve 0,57 mm e o painel 1935 teve 0,02 mm após 720 horas. Como

comentado anteriormente, na regulamentação na NBR 5440 no anexo D, o máximo do avanço de corrosão para um tanque de transformador é de 4 mm. Com base nos resultados obtidos neste trabalho de graduação, apresentaram avanços de corrosão a baixo da regulamentação, o que pode-se afirmar que, as duas amostras apresentaram excelente desempenho a fim de evitar a corrosão do equipamento.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo investigar as propriedades físico-químicas das tintas utilizadas na proteção de transformadores, utilizando duas tintas doadas, um *primer* epóxi com alto teor de zinco com proteção catódica e um sistema de poliuretano de acabamento de alto sólidos. A pesquisa se mostrou relevante ao abordar um tema com pouca literatura específica, destacando-se pela análise técnica das tintas, essencial para garantir a proteção contra corrosão e degradação ambiental dos transformadores.

Por meio da aplicação de metodologias rigorosas, como testes de viscosidade, massa específica e teste de *Salt Spray*, foi possível avaliar com precisão as características dessas tintas. Os resultados dos testes indicaram que ambas as amostras analisadas, amostra A e B, atenderam aos requisitos normativos, oferecendo uma excelente proteção ao substrato metálico dos transformadores. O desempenho observado, especialmente no teste de *Salt Spray*, onde demonstrou ser eficaz na prevenção da corrosão, com penetrações de corrosão no entalhe significativamente inferiores ao limite estabelecido pela NBR 5440.

Dessa forma, os dados obtidos indicam que as tintas avaliadas são adequadas para a aplicação em transformadores, fornecendo proteção prolongada e reduzindo a necessidade de manutenções frequentes. Esses resultados contribuem para o desenvolvimento de diretrizes técnicas mais precisas e para a seleção de tintas com maior eficiência e durabilidade no setor de transmissão de energia elétrica.

Por fim, o estudo abre caminho para futuras pesquisas, tanto no aprimoramento das formulações de tintas quanto na exploração de novas tecnologias para a proteção de equipamentos elétricos. A análise de outros tipos de tintas e a incorporação de práticas sustentáveis no processo de produção podem ser áreas de investigação relevante, buscando não apenas melhorias na proteção de transformadores, mas também na redução do impacto ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 5440: 2014/Er1:2014. Disponível em: Arquivos internos Advance Tintas – Acesso: 20 set. 2024.

ABNT NBR 5410:2004. Disponível em: Arquivos internos Advance Tintas – Acesso: 21 set. 2024.

ABNT NBR 5828:1984. Disponível em: Arquivos internos Advance Tintas – Acesso: 20 set.2024.

ADDITIVA. Você sabe o que é o teste salt spray?. Additiva, 22 ago. 2023. Disponível em: <https://www.additiva.com.br/blog-voce-sabe-o-que-e-o-teste-salt-spray>. Acesso em: 20 set. 2024.

ALVARENGA, D. Curso de tintas a partir de pigmentos minerais. Belo Horizonte: Fundação IBI - Tecnologias Alternativas, 2006. Acesso em: 27 de maio 2024.

ALVES, Lucas Repecka. Preparação, caracterização e aplicação de tinta bicomponente de poliuretano à base de óleo de mamona. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 11388: Sistemas de pintura para equipamentos e instalações de subestações elétricas. Rio de Janeiro, 1990. Acesso em: 09 de junho 2024.

BRAGATTO, Álann de Oliveira Piagentini. Sistema de pintura anticorrosiva monocomponente aplicado diretamente sobre o metal substituto ao sistema tradicional de três componentes- Desenvolvimento e avaliação de formulações de tinta base água. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BRUNETTI, Franco. Mecânica dos fluidos / Franco Brunetti - 2. Ed. Ver. – São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2008.

COELHO, A. Z. G.; TORGAL, F. P.; JALALI, S. A cal na construção. Guimarães: Editora TecMinho, 2009. Acesso em: 07 de junho 2024.

DONADIO, P. A., ABRAFATI. Manual básico sobre tintas. 2011. Acesso em: 27 de maio 2024.

E. L. SILVA VAZ, H. A. ACCIARI, A. ASSIS, E. N. CODARO. Uma experiência didática sobre viscosidade e densidade. Química Nova na Escola 34 (3) 155-158. 2012.

FAZENDA M. R, Jorge. Coordenador - Tintas – ciência e tecnologia /–4ª edição rev. e ampl. – São Paulo, Blucher, 2009. Acesso em: 09 de junho 2024

HALLIDAY, RENICK, WALKER. Fundamentos de Física, v. 1 e 2. Editora LTC, 6º edição

Livro de atividades experimentais (Física Experimental – Mecânica dos fluidos – Viscosímetro de Stokes) Cidepe.

HELERBROCK, Rafael. "O que é um transformador?"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-um-transformador.htm>. Acesso em 21 de maio de 2024.

JORDÃO, Rubens Guedes – Transformadores / Rubens Guedes Jordão – São Paulo: Bluncher, 2008. Acesso em: 01 de junho 2024.

JÚNIOR, Andouglas. Massa específica, peso específico e peso relativo. Instituto Federal do Rio Grande do Norte, 4 jul. 2016. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/andouglassilva/disciplinas/mecanica-dos-fluidos/aula-1-massa-especifica-peso-especifico-peso-relativo>. Acesso em: 11 set. 2024.

LEITE, Adriana. Desenvolvimento e estudos de tintas epóxis anticorrosivas ecologicamente corretas. Repertório Institucional UFC, 14 fev. 2004. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/1022>. Acesso em: 22 ago. 2024

MELLO, V. M.; Suarez, P. A. Z. As Formulações de Tintas Expressivas Através da História, Revista Virtual da Química, p. 2-12, 5 mar. 2012. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/248/218>. Acesso em: 27 maio 2024.

OLIVEIRA, José Carlos de. Transformadores: teoria e ensaios / José Carlos de Oliveira, João Roerto Cogo, José Policarpo G. de Abreu. – 2. Ed. – São Paulo: Bluncher, 2018. Acesso em: 01 de junho 2024.

SCHLICHTA, Consuelo Alcione Borba Duarte. A pintura histórica e a elaboração de uma certidão visual para a nação no século XIX. 296 p. Tese (Doutorado em História) –Universidade Federal do Paraná, 2006. Acesso em: 28 de maio 2024.

SHREVE, Norris. Indústrias de Processos Químicos. 4. ed. rev. [S. l.]: Guanabara, 1997.

SPLABOR. 6 diferentes tipos de viscosímetros e como eles funcionam. SPLABOR Blog, 22 fev. 2024. Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/viscosimetros-2/6-diferentes-tipos-de-viscosimetros-e-como-eles-funcionam/>. Acesso em: 16 set. 2024.

VELOSO, Luana. Corantes e Pigmentos. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2012. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40424248/CORANTES_E_APLICACOES-libre.pdf?1448627823=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCORANTES_E_APLICACOES.pdf&Expires=1728167857&Signature=fA7F6nYP6foBh9UtBv2UkckXdN10CmInqkeo-r1J9hYaK7VjIT6qWrrTch2TaR598SG4htCNnDPwmoCY7QvDJYHW0-bugvGNLMgqGS2I76GqeinDs3TZk2TrLhw33cQUpAKfGc110jOg1Xn7SC8WpQozfNrbIM2PBTPkK3ZLwStpGm70XA97VdOhnMhD444ebC~vI4RrWhLHDwhw0QqLwZo3~B5XCskWHtemR4n6LdjcUzOgLaLN2K1i0SN0pDqXrcokoSHfseDN8A4gEjpKQeJKSUw-r6eaBn-g40IyQVDgLyBOMVLI5qAUtcNkKaEzRneixdMeUYeQRBroSzCo~w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 19 set. 2024.

ANEXO A



TINTAS, VERNIZES E DERIVADOS – DETERMINAÇÃO
DA MASSA ESPECÍFICA

Método de ensaio

10.061
NBR 5829
DEZ/1984

1 OBJETIVO

Esta Norma prescreve o método de determinação da massa específica de tintas e vernizes.

2 APARELHAGEM

- 2.1 Picnômetro metálico com capacidade aproximada de 100 cm³ e tampa com furo central de 1 mm de diâmetro.
- 2.2 Balança semi-analítica com precisão de 0,001 g.
- 2.3 Acessórios de laboratório.

3 AFERIÇÃO DO PICNÔMETRO

- 3.1 Limpar o picnômetro e secar numa estufa até massa constante (A).

Nota: Interromper a operação de pesagem quando a diferença entre duas sucessivas pesagens não exceder a 0,001% da massa do recipiente.

- 3.2 Encher o picnômetro com água destilada à temperatura específica (25 ± 1)°C.
- 3.3 Colocar, cuidadosamente, a tampa no picnômetro e deixar transbordar a água pelo seu orifício.

- 3.4 Limpar o excesso que extravasar através do orifício da tampa e/ou pelas bordas, com auxílio de um material absorvente embebido em álcool ou acetona.

Nota: Impedir a formação de bolhas de ar dentro do picnômetro.

- 3.5 Pesar, imediatamente, o picnômetro cheio. Anotar a massa (B).
- 3.6 Calcular o volume real do picnômetro, usando a expressão:

Origem: ABNT MB-990/1984

CB-10 – Comitê Brasileiro de Química, Petroquímica e Farmácia

CE-10:01.106 – Comissão de Estudo de Métodos Gerais e Processos

Esta Norma substitui a NBR 5829/83

Esta Norma foi baseada na ASTM D-1475/74

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS

©

Palavras-chave: tintas - vernizes

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

$$v = \frac{(B - A)}{q}$$

Onde:

- v = volume real do picnômetro, expresso em cm^3
 B = massa do picnômetro com água, expressa em g
 A = massa do picnômetro vazio, expressa em g
 q = massa específica da água, expressa em g/cm^3 (ver Tabela)

4 EXECUÇÃO DO ENSAIO

4.1 A amostra deverá ser perfeitamente homogeneizada, de preferência sob agitação mecânica.

4.2 Repetir os itens do capítulo 3, substituindo a água destilada pela amostra.

4.3 Anotar a massa do picnômetro vazio (A) e a massa do picnômetro com amostra (P)

5 RESULTADOS

5.1 *Cálculo da massa específica de tintas*

$$Me = \frac{(P - A)}{v}$$

Onde:

- Me = massa específica, expressa em g/cm^3
 P = massa do picnômetro com amostra, expressa em g
 A = massa do picnômetro vazio, expressa em g
 v = volume do picnômetro, expresso em cm^3

5.2 *Tolerância*

A diferença entre os resultados de ensaio feitos em duplicata não deve exceder a 0,01%.

TABELA - Massa específica da água

Temperatura (°C)	Massa específica (g/cm^3)
15	0.999099
16	0.998943
17	0.998744
18	0.998595
19	0.998405
20	0.998203
21	0.997992
22	0.997770
23	0.997538
24	0.997296
25	0.997044
26	0.996783
27	0.996512
28	0.996232
29	0.995944
30	0.995656