



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E ENGENHARIA DE MATERIAIS (PPGCEM-UFPA)



MATHAUS MORAES LUCAS

**CARACTERIZAÇÃO DE TINTAS INDUSTRIAIS APLICADAS NA REGIÃO
AMAZÔNICA A PARTIR DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, MECÂNICAS E DE
DURABILIDADE**

ANANINDEUA
2024

MATHAUS MORAES LUCAS

**CARACTERIZAÇÃO DE TINTAS INDUSTRIAIS APLICADAS NA REGIÃO
AMAZÔNICA A PARTIR DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, MECÂNICAS E DE
DURABILIDADE**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), do *Campus* Universitário de Ananindeua (CANAN), da Universidade Federal do Pará (UFPA), como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador : Alisson Clay Rios da Silva

Área de concentração: Caracterização, desenvolvimento e aplicação de materiais.

Linha de pesquisa: Tecnologia dos Materiais

ANANINDEUA
2024

MATHAUS MORAES LUCAS

**CARACTERIZAÇÃO DE TINTAS INDUSTRIAIS APLICADAS NA REGIÃO
AMAZÔNICA A PARTIR DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, MECÂNICAS E DE
DURABILIDADE.**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), do *Campus* Universitário de Ananindeua (CANAN), da Universidade Federal do Pará (UFPA), como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Caracterização, desenvolvimento e aplicação de materiais.

Linha de pesquisa: Tecnologia dos Materiais

Data de aprovação: 28/02/2024.

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente



ALISSON CLAY RIOS DA SILVA

Data: 28/02/2024 20:53:13-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alisson Clay Rios da Silva

Documento assinado digitalmente



VERONICA SCARPINI CANDIDO

Data: 01/03/2024 16:24:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador – (PPGCEM/UFPA)

Prof.(a) Dr.(a) Verônica Scarpini Cândido
Examinador interno – (PPGCEM/UFPA)

Documento assinado digitalmente



CARLOS ALBERTO MARTINS FERREIRA

Data: 01/03/2024 10:32:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Ferreira
Examinador externo – (UERJ-RJ)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L933c Lucas, Mathaus Moraes.
CARACTERIZAÇÃO DE TINTAS INDUSTRIAIS
APLICADAS NA REGIÃO AMAZÔNICA A PARTIR DE
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, MECÂNICAS E DE
DURABILIDADE / Mathaus Moraes Lucas. — 2024.
90 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Alisson Clay Rios da Silva
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Campus Universitário de Ananindeua, Programa de Pós-Graduação
em Ciência e Engenharia de Materiais, Ananindeua, 2024.

1. Tintas. 2. Caracterização. 3. Intemperismo. 4.
Amazônica. 5. Qualidade. I. Título.

CDD 620.11

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo apoio, atenção, dedicação e o por acreditarem desde sempre nos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Alexandre Lucas e Maria Das Graças Lucas, por todo sacrifício e luta para que eu alcançasse meus objetivos, por todo carinho e afeto demonstrado por toda vida.

A minha irmã, Jhadi Lucas, por todo companheirismo e sensatez nos melhores e piores momentos, contribuindo enormemente para a minha vida profissional e pessoal.

A minha esposa, Josi Moreira, por toda atenção, compreensão, carinho, companheirismo e total apoio ao longo de toda minha formação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alisson Rios e Prof^a. Dr^a. Verônica Scarpini, por sempre acreditarem no meu potencial, dando-me todo apoio acadêmico e institucional desde os primórdios da graduação, agradeço pelo exemplo e espelho acadêmico.

À Universidade Federal do Pará, em especial ao PPGCEM pelo suporte na realização desse trabalho. E todos os Professores do programa.

A banca examinadora, ao Prof. Dr. Carlos Ferreira e a Prof^a. Dr^a. Verônica Scarpini por aceitarem participar da defesa desse trabalho.

Aos laboratórios de práticas tecnológicas, laboratório de caracterização da UFPA campus Ananindeua e Tintas Vivace, pela disponibilidade estrutural para a realização desse trabalho.

A grande amiga Dori Farias que ao longo do programa ajudou a ser mais leve todas as circunstâncias difíceis. A Cristina Barbosa pela ajuda na realização deste trabalho.

Aos meus demais amigos e familiares que de alguma forma contribuíram para a vida acadêmica.

“Ocupa-te dos teus deveres profissionais por Amor; leva a cabo todas as coisas por Amor, insisto, e verificarás - precisamente porque amas, ainda que saboreies a amargura da incompreensão, da injustiça, do desagrado e até do próprio fracasso humano - as maravilhas que o teu trabalho produz. Frutos saborosos, semente de eternidade”
São Jose maria.

RESUMO

No Brasil, o setor industrial de tintas e vernizes está entre os cinco maiores do mercado. A fabricação de tintas para diversas aplicações, com tecnologia e responsabilidade técnica iguala aos mais avançados centros mundiais de produção. A durabilidade de uma tinta refere-se à resistência ao intemperismo. Para o intemperismo é necessária uma tinta resistente a intempéries para que no substrato onde será utilizado não ocorra o desbotamento, que pode ocorrer dentre alguns fatores, devido à incidência de luz solar e fortes chuvas. A região Norte, com precipitação pluvial elevada, influenciada por linhas de instabilidade apresenta importante heterogeneidade espacial e sazonal da pluviosidade e possui o maior total pluvial anual. Mediante essa realidade, foi desenvolvida uma tinta comercialmente aplicada na região amazônica. Na formulação padrão foram feitas variações de cargas minerais (Caulim, Dolomita e Carbonato De Cálcio Precipitado) e posteriormente foram realizados análises e ensaios para avaliar o desempenho dessa tinta, comparados com a formulação original, tais como resistência a abrasão e resistência ao intemperismo. A metodologia de produção das tintas será de acordo com Castro (2009) utilizando a técnica de Hare (1974). A caracterização das tintas no estado fresco foi realizada através dos ensaios de Viscosidade, pH e peso específico, enquanto que a caracterização das tintas no estado endurecido foi realizada através dos ensaios de resistência a abrasão, teste de resistência ao intemperismo e Microscopia eletrônica de varredura. Os testes físico-químicos revelaram que, em relação à viscosidade *Stormer*, todas as formulações superaram o padrão (130 UK), com exceção das tintas contendo 30% de Dolomita, 15% de PCC, 15% de Dolomita e a combinação ternária de 5% de Caulim, 5% de Dolomita e 20% de PCC. Quanto ao peso específico, a formulação que mais se aproximou do padrão foi a tinta binária com 15% de Caulim e 15% de PCC, apresentando um valor médio de 1,43 g/cm³. Em termos de pH, todas as formulações apresentaram alcalinidade, com valores variando entre 7,5 e 9,6. Após um período de exposição de 180 dias, nenhuma das misturas, incluindo a formulação padrão, apresentou formação de patologias, demonstrando resistência às intempéries. As formulações com 30% de Dolomita; 15% de PCC e 15% de Dolomita; 5% de PCC, 5% de Caulim e 20% de Dolomita; 10% de Caulim, 10% de PCC e 10% de Dolomita, exibiram respectivamente 300, 290, 240, 270 ciclos de resistência à abrasão, indicando o potencial dessas tintas para uma variedade de aplicações, como tintas para pisos, tintas externas e tintas para estradas.

Palavras-chave: Tintas; Caracterização; Intemperismo; Amazônica; Qualidade.

ABSTRACT

In Brazil, the industrial sector of paints and varnishes is among the five largest in the market. The manufacture of paints for various applications, with technology and technical responsibility, equals the most advanced global production centers. The durability of a paint refers to its resistance to weathering. For weathering, a weather-resistant paint is necessary so that fading does not occur on the substrate where it will be used, which can occur among some factors, due to the incidence of sunlight and heavy rains. The North region, with high rainfall, influenced by instability lines, presents significant spatial and seasonal heterogeneity of rainfall and has the highest annual rainfall total. Given this reality, a paint commercially applied in the Amazon region was developed. In the standard formulation, variations of mineral loads (Kaolin, Dolomite and Precipitated Calcium Carbonate) were made and subsequently analyses and tests were carried out to evaluate the performance of this paint, compared with the original formulation, such as abrasion resistance and weathering resistance. The paint production methodology will be according to Castro (2009) using Hare's technique (1974). The characterization of the paints in the fresh state was carried out through the Viscosity, pH and specific weight tests, while the characterization of the paints in the hardened state was carried out through the abrasion resistance tests, weathering resistance test and Scanning Electron Microscopy. The physico-chemical tests revealed that, in relation to Stormer viscosity, all formulations exceeded the standard (130 KU), with the exception of the paints containing 30% Dolomite, 15% PCC, 15% Dolomite and the ternary combination of 5% Kaolin, 5% Dolomite and 20% PCC. As for the specific weight, the formulation that came closest to the standard was the binary paint with 15% Kaolin and 15% PCC, presenting an average value of 1.43 g/cm³. In terms of pH, all formulations showed alkalinity, with values ranging between 7.5 and 9.6. After a period of exposure of 180 days, none of the mixtures, including the standard formulation, showed the formation of pathologies, demonstrating resistance to weathering. The formulations with 30% Dolomite; 15% PCC and 15% Dolomite; 5% PCC, 5% Kaolin and 20% Dolomite; 10% Kaolin, 10% PCC and 10% Dolomite, exhibited respectively 300, 290, 240, 270 cycles of abrasion resistance, indicating the potential of these paints for a variety of applications, such as floor paints, external paints and road paints.

Keywords: Paints; Characterization; Weathering; Amazonian; Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura cristalina do dióxido de titânio (a) rutilo (b) e anatase. (c) Imagens obtidas com microscópio eletrônico de transmissão (MET).	23
Figura 2 - Imagens obtidas com microscópio eletrônico de transmissão (MET) Carbonato de cálcio precipitado.	25
Figura 3 - Microscopia da carga dolomita.....	26
Figura 4 - Imagens obtidas com microscópio eletrônico de transmissão (MET) Caulim	27
Figura 5 - Parede com umidade.....	35
Figura 6 - Parede com inchamento/bolhas	35
Figura 7- Parede Descascando	36
Figura 8 - Fluxograma das etapas do desenvolvimento do trabalho	37
Figura 9 - Divisão da formulação padrão.....	38
Figura 10 - Formulação pré-estabelecida.....	39
Figura 11 - Matérias-primas utilizadas: a) Pigmento, b) Caulim, c) Dolomita, d) Carbonato de Cálcio Precipitado, e) Aditivos, f) Resina Acrílica e g) Água Industrial (Controle de pH e Cloro).	39
Figura 12 - Materiais e equipamentos utilizados no teste de absorção em óleo: a) Balança Analítica, b) Espátula e placa de vidro e c) Óleo de linhaça.	40
Figura 13 - Ensaio de absorção de óleo: a) Pesagem da Carga, b) Pesagem do óleo de linhaça e c) Gotejamento do óleo.	41
Figura 14 - Materiais e equipamentos utilizados para determinação de pH nas cargas: a) Erlenmeyer, b) Chapa Aquecedora, c) Termômetro e d) pHmetro.	41
Figura 15 - Ensaio de pH em cargas minerais: a) Pesagem dos materiais, b) Aquecimento e c) Aferição do pH.....	42
Figura 16 - (a) MEV Tescan MIRA3 e (b) Metalizador EMITECH K550.....	43
Figura 17 - Desenho experimental do tipo centróid simplex.	44
Figura 18 - Materiais e equipamentos utilizados para a fabricação das tintas: a) Furadeira de bancada e b) Disco dispersor	46
Figura 19 - Pesagem dos Materiais: (a) Pesagem de Insumos e (b) Insumos Organizados	46
Figura 20 - Sequência de Dispersão	47
Figura 21 - Etapa de Dispersão	47
Figura 22 - Sequência de Completagem	47
Figura 23 - Armazenamento das misturas após a etapa da completagem.....	48

Figura 24 - Materiais e equipamentos utilizados para a realização da viscosidade: a) Viscosímetro e b) Becker de 250 ml.....	49
Figura 25 - Determinação de viscosidade Stormer: (a) Aferição da temperatura em 25°C e (b) Utilização do Viscosímetro.....	49
Figura 26 - Picnômetro de 100 ml da TKB.....	50
Figura 27 - Utilização do Picnômetro.....	50
Figura 28 - Máquina de lavabilidade TKB.....	51
Figura 29 - Resistência ao intemperismo: (a) Pintura dos corpos de prova e (b) Exposição a Intempéries.....	53
Figura 30 - Espectros FTIR da resina acrílica.....	57
Figura 31 - Micrografias obtidas por MEV do Dióxido de Titânio: a) Aumento de 5000X, b) 18.500X e c) Análise por EDS.....	58
Figura 32 - Micrografias obtidas por MEV do Caulim: a) Aumento de 500X, b) 1.000X, c) 5.000X e d) Análise por EDS.....	59
Figura 33 - Micrografias obtidas por MEV da Dolomita: a) Aumento de 500X, b) 1.000X, c) 5.000X e d) Análise por EDS.....	60
Figura 34 - Micrografias obtidas por MEV do Carbonato de Cálcio Precipitado : a) Aumento de 5000X e b) 18.500X.....	61
Figura 35 - Micrografias obtidas por MEV da Resina Acrílica: a) Aumento de 500X e b) 1.000X.....	62
Figura 36 - Gráfico da viscosidade Stormer das misturas e padrão.....	63
Figura 37 - Gráfico de peso específico das misturas e padrão.....	65
Figura 38 - Gráfico de pH das misturas e padrão.....	66
Figura 39 - Gráfico da resistência à abrasão das misturas e padrão.....	69
Figura 40 - Amostras após 180 dias de exposição climática: a) Mono Carga, b) Binária, c) Ternária e d) Padrão.....	71
Figura 41 - MEV da mistura 15P15D: a) Superfície a 1,00 Kx, b) Superfície a 5,00 Kx e c) Adesão de Concreto e Tinta a 1,00 Kx. As setas indicam os poros e a linha indica a aderência entre a tinta e o concreto.....	72
Figura 42 - MEV da mistura 5C5P20D: a) Superfície a 1,00 Kx, b) Superfície a 5,00 Kx e c) Adesão de Concreto e Tinta a 1,00 Kx. As setas indicam os poros e a linha indica a aderência entre a tinta e o concreto.....	73

Figura 43 - MEV da mistura 10C10P10D: a) Superfície a 1,00 Kx, b) Superfície a 5,00 Kx, e c) Adesão de Concreto e Tinta a 1,00 Kx. As setas indicam os poros, a área retangular são as regiões densas e a linha indica a aderência entre tinta e concreto. 74

Figura 44 - MEV Padrão: a) Superfície a 1,00 Kx, b) Superfície a 5,00 Kx, e c) Adesão de Concreto e Tinta a 1,00 Kx. As setas indicam os poros e a linha indica a aderência entre tinta e concreto. 75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físicas gerais dos principais pigmentos de dióxido de titânio	24
Tabela 2 - Função dos principais aditivos.	30
Tabela 3 - Proporções das misturas e sua posição no desenho experimental.....	44
Tabela 4 - Detalha as proporções da parte variável do estudo.	45
Tabela 5 - Limites mínimos dos requisitos de desempenho	52
Tabela 6 - Parâmetros utilizados para análise de variância (ANOVA)	53
Tabela 7 - Resultados da caracterização das cargas minerais e do pigmento	55
Tabela 8 - Fluorescência de Raios X das cargas minerais e pigmento	56
Tabela 9 - ANOVA da Viscosidade Stormer das formulações.....	64
Tabela 10 - Teste de Tukey para Viscosidade Stormer das Formulações.....	64
Tabela 11 - ANOVA de Peso Específico das formulações	66
Tabela 12 - ANOVA de pH das formulações.....	67
Tabela 13 - Teste de Tukey para pH das Formulações	68
Tabela 14 - ANOVA da resistência abrasão úmida das formulações.....	70
Tabela 15 - Teste de Tukey para resistência abrasão úmida das Formulações	70

LISTA DE SÍMBOLOS

OEM	<i>Original Equipment Manufacture</i>
TiO ₂	Dióxido de Titânio
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PCC	Carbonato de Cálcio Precipitado
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Silicato de Alumínio hidratado
CaMg(CO ₃) ₂	Dolomita
SiO ₂	Dióxido de Silício
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio
CGG	Carbonato de Cálcio Natural
pH	Potencial Hidrogeniônico
KU	Unidade Kreebs
Na ₂ O	Óxido de Sódio
K ₂ O	Óxido de Potássio
Fe ₂ O ₃	Óxido de Ferro
MgO	Óxido de Magnésio
PF	Perda ao fogo
DRX	Difração de Raios-X
AO	Absorção em óleo
LME	Laboratório de Microscopia Eletrônica
UFPA	Universidade Federal do Pará

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 TINTA.....	18
2.1.1 Classificação das tintas	19
2.2 MATÉRIAS-PRIMAS.....	20
2.2.1 Resinas	20
2.2.1.1 Resinas Acrílicas	21
2.2.2 Pigmentos.....	22
2.2.2.1 Dióxido de Titânio	22
2.2.3 Cargas ou extensores de TiO ₂	24
2.2.3.1 Carbonato de Cálcio Precipitado (PCC)	24
2.2.3.2 Dolomita	26
2.2.3.3 Caulim.....	26
2.2.3.4 Fatores que influenciam na escolha das cargas	27
2.2.4 Solventes	28
2.2.5 Aditivos	29
2.3 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE TINTAS.....	30
2.3.1 Análises de controle de qualidade	31
2.3.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)	31
2.3.1.2 Viscosidade	32
2.3.1.3 Peso Específico.....	33
2.3.1.4 Brilho	33
2.3.1.5 Lavabilidade	33
2.4 MERCADO	34
2.5 DEFEITOS E FALHAS MAIS COMUNS EM TINTAS IMBOLIÁRIAS	34

3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 MATERIAIS.....	37
3.1.1 Matérias-primas	37
3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	39
3.2.1 Caracterização das matérias-primas	40
3.2.1.1 Absorção em Óleo	40
3.2.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)	41
3.2.1.3 Fluorescência de Raios-X.....	42
3.2.1.4 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)	42
3.2.1.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	42
3.2.2 Definição das formulações das tintas	43
3.2.3 Fabricação da Tinta	45
3.2.4 Caracterização da Tinta Formulada	48
3.2.4.1 Caracterização da Tinta Fresca	48
3.2.4.1.1 Viscosidade Stormer	48
3.2.4.1.2 Peso específico.....	49
3.2.4.2 Caracterização da Tinta endurecida	51
3.2.4.2.1 Determinação da resistência à abrasão úmida com pasta abrasiva	51
3.2.4.2.2 Resistência ao Intemperismo	52
3.2.5 Tratamento estatístico	53
4 RESULTADOS	55
4.1 CARACTERIZAÇÕES DAS MATÉRIAS-PRIMAS	55
4.1.1 Absorção de Óleo (AO) e pH	55
4.1.2 Fluorescência de Raios-X (FRX).....	55
4.1.3 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)	56
4.1.4 Microscopia Eletrônica de Varredura das Matérias-Primas	57
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA TINTA FORMULADA.....	63
4.2.1 Viscosidade <i>Stormer</i> , Peso Específico e pH.....	63
4.2.2 Determinação da resistência à abrasão úmida com pasta abrasiva.....	68
4.2.3 Resistência às Intempéries	71

4.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura após Resistência ao Intemperismo.....	72
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor industrial de tintas e vernizes está entre os cinco maiores do mercado. A fabricação de tintas para diversas aplicações, com tecnologia e responsabilidade técnica iguala aos mais avançados centros mundiais de produção. Existem vários fabricantes nacionais de grande, médio e pequeno porte, entretanto, apenas 10 fabricantes detêm 75% do total das vendas no país (ABRAFATI, 2022).

Em 2022, o Brasil produziu cerca de 1,6 bilhão de litros de tintas. De acordo com dados consolidados da ABRAFATI (2023), as tintas imobiliárias representaram 82,5% desse total de volume de tintas produzido (o que significou 1,358 bilhão de litros). O país é quinto maior mercado de tintas do mundo e líder na América Latina.

A produção e o consumo de revestimentos são considerados bem balanceados em todos os países, deferentemente do que tem acontecido nos países da Ásia, que no último período, apresentam uma demanda crescente, sendo considerados responsáveis por cerca de mais da metade do consumo global em termos de volume (IHS MARKIT, 2020).

Tinta é uma formulação, geralmente na forma líquida, cuja finalidade é revestir uma superfície. Os componentes básicos que constituem uma tinta são os aditivos, cargas, pigmentos, resinas e solventes. A resina tem o papel de aglutinante de partículas e, em razão da sua composição, torna-se o principal fator na composição do filme. Nas tintas a base aquosa, as resinas utilizadas com maior frequência são o látex vinílico e as resinas acrílicas, enquanto nas tintas a base de solventes são utilizadas as resinas alquídicas, conhecidas no mercado como esmaltes sintéticos. A composição dessas resinas está interligada com as características de resistência da tinta, brilho, secagem, aderência, flexibilidade e durabilidade, tornando a resina o principal componente da tinta (ABREU, 2022).

Os revestimentos para construção devem atender às seguintes condições: absorção mínima de água, aderência aos substratos, resistência a álcalis, fungos, algas e raios UV. Caso contrário, alguns problemas podem ser encontrados em edifícios, como manchas de escoamento de águas e desbotamento (SILVA, 2015).

A função decorativa das tintas é equivocadamente considerada como principal ou única. Além de decorar, estas podem desenvolver a tarefa de isolar termicamente, proteger superfícies de intempéries ou organismos como os fungos, sinalizar ou, até mesmo exercer uma influência psicológica sobre as pessoas (YU-MIN CHANG *et al.*, 2011).

A durabilidade de uma tinta refere-se também à resistência ao intemperismo. Relacionada a calcinação, desbotamento, perda visível de aparência conforme o esperado da

qualidade das tintas em construções civis, bem como sua proteção. Para o intemperismo é necessária uma tinta resistente a intempéries para que no substrato onde será utilizado não ocorra o desbotamento, que pode ocorrer dentre alguns fatores, devido à incidência de luz solar e fortes chuvas (MACIEL, 2021).

A região Norte, com precipitação pluvial elevada, influenciada por linhas de instabilidade. Essa região apresenta importante heterogeneidade espacial e sazonal da pluviosidade e possui o maior total pluvial anual (KELLER FILHO, 2005). No segundo semestre do ano, o índice pluviométrico da região norte aumenta a medida que os dias se aproximam do mês de dezembro, em média 700 mm por mês (CEPTEC,2018).

Mediante essa realidade, esse trabalho abordará alguns critérios que deverão ser seguidos na formulação de tinta imobiliária aplicadas na região Norte que irá ou não atender minimamente os parâmetros que conferem qualidade à tinta, tais como poder de cobertura, rendimento, lavabilidade e resistência ao intemperismo, parâmetros esses, que variam de acordo com o tipo da tinta. Para isso, a metodologia utilizada compreendeu de uma pesquisa de caráter exploratório, a partir de uma revisão bibliográfica sobre a influência das matérias-primas nas propriedades físico-químicas, mecânicas e de degradação de tintas a base de água aplicadas na região norte.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Examinar as características físico-químicas, mecânicas e microestruturais de revestimentos industriais em relação aos efeitos do intemperismo da região amazônica.

1.1.2. Objetivos específicos

- Compreender as diferenças das tintas no estado fresco e endurecido a partir das formulações;
- Entender as características físico-químicas e mecânicas das amostras, a partir das análises propostas;
- Avaliar o aspecto superficial entre substrato e matriz por meio de microscopia eletrônica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TINTA

As tintas são, em sua essência, uma composição líquida de natureza viscosa que contém uma dispersão de partículas sólidas. A constituição das tintas é baseada em quatro componentes fundamentais: a resina, que atua como um agente de ligação; o solvente, que facilita a aplicação; o pigmento, que proporciona cor e opacidade; e os aditivos, que conferem características específicas e melhoram o desempenho do produto. O processo de secagem, também referido como cura, resulta na formação de um filme que adere ao substrato, que é a superfície na qual a tinta foi aplicada. Este filme desempenha um papel duplo, proporcionando proteção ao substrato e contribuindo para a estética do ambiente. A proteção é geralmente contra fatores ambientais, enquanto a decoração é conseguida através da escolha de cores e acabamentos (FAZENDA, 2009; LATIF, 2017).

As tintas são categorizadas primordialmente em dois tipos: tintas à base de óleo ou solventes e tintas à base de água. Essas denominações refletem a distinção fundamental entre as duas classes de tintas, que é a composição da porção líquida, também conhecida como veículo da tinta. No caso das tintas à base de óleo, o veículo é composto por solventes. Já nas tintas à base de látex, o veículo é constituído por água. Esta descrição técnico-científica destaca a natureza química dos diferentes tipos de tintas e a importância do veículo na determinação de suas propriedades e aplicações (POLITO, 2006; DUARTE, 2021).

O mercado atual apresenta uma diversidade ampla de tipos de tintas, resultado do aprimoramento de resinas, pigmentos e formulações variadas e computadorizadas oferecidas pela maioria dos fabricantes. O progresso tecnológico tem permitido a introdução de produtos cada vez mais inovadores, nos quais é possível encontrar funções técnicas especiais, como a redução da absorção de água, aprimoramento de aspectos de higiene, resistência à abrasão, resistência ao crescimento de fungos, propriedades antiestáticas, conforto térmico, entre outros. As tintas são constituídas por cinco componentes fundamentais: resina, pigmento, aditivos, cargas e solvente. Esta descrição destaca a complexidade e a diversidade dos produtos de tinta disponíveis no mercado atual. (PILZ, 2004; ABRAFATI, 2023). Os componentes serão descritos abaixo.

A resina, em conjunto com os pigmentos e cargas, compõe a porção não volátil da tinta, exercendo a função de formação de filme e sendo também referida como veículo. A composição dessas resinas está intrinsecamente ligada às propriedades das tintas, como

resistência, aderência, flexibilidade e durabilidade, o que confere à resina o status de componente primordial da tinta. Esta exposição realça o papel crucial da resina na definição das propriedades e eficácia das tintas. (ABREU, 2022).

Os pigmentos são caracterizados como substâncias sólidas, de natureza orgânica ou inorgânica, e que são insolúveis. Eles têm o propósito de atribuir cor, opacidade, capacidade de cobertura, proteção contra corrosão e incrustações, além de contribuir para a proteção contra chamas (CRISTIE, 2021).

Os aditivos são elementos incorporados à tinta em proporções reduzidas (geralmente de 1 a 3%), com o objetivo de conferir características distintas ou aprimorar as propriedades existentes. Eles atuam como facilitadores em várias etapas da produção, exercendo influência na manufatura, estabilidade, aplicabilidade, qualidade e aparência do filme aplicado. As moléculas dos aditivos podem variar desde estruturas simples até polímeros, podendo ser orgânicos ou inorgânicos, e solúveis ou insolúveis no sistema (FAZENDA, 2009; TURNER, 2021).

As cargas são substâncias em forma de pó, de origem inorgânica, que têm a função de aprimorar certos atributos do revestimento, sem, no entanto, adicionar cor ou opacidade. Em sua maior parte, são quimicamente inertes e são beneficiadas em diferentes intervalos granulométricos, conforme a aplicação pretendida. Em determinadas situações, quando as cargas são utilizadas em proporções desequilibradas em relação à formulação, podem resultar em problemas no produto final. As cargas mais frequentemente utilizadas incluem calcita, talco, caulim, mica e sílica (PILZ, 2004; KASUMBA *et al.*, 2022).

O solvente constitui a parte volátil da tinta, sendo um líquido com um ponto de ebulição baixo. Sua função é dissolver a resina, ajustar a viscosidade da tinta e facilitar a dispersão adequada dos pigmentos. Além disso, o solvente auxilia na formação do filme sobre o substrato (FAZENDA, 2009; GUPTA *et al.*, 2021).

2.1.1 Classificação das tintas

Segundo Moreno (2017) as tintas podem ser categorizadas com base no mercado que atendem e nas tecnologias mais representativas, sendo elas: tintas imobiliárias e tintas industriais do tipo OEM (Original Equipment Manufacturer). As tintas imobiliárias são voltadas para a construção civil e podem ser divididas em produtos à base de água (látex) ou solvente orgânico. Entre os produtos à base de água, destacam-se as tintas Econômicas, Standard, Premium e Super Premium, que diferem em termos de custo, resistência e

capacidade de cobertura. As tintas industriais do tipo OEM são empregadas como insumos no processo industrial de produção de um produto específico. Quanto ao mecanismo de formação do revestimento, existem as lacas, os produtos látex e os produtos termoconversíveis. Nas lacas, uma película é formada pela evaporação do solvente. Nos produtos látex, a secagem ocorre por coalescência, como nas tintas látex acrílicas, vinílicas e vinil-acrílicas utilizadas na construção civil. Nos produtos termoconversíveis, a secagem ocorre através da reação entre duas resinas presentes na composição a uma temperatura adequada. (NBR 15079-1, 2019).

2.2 MATÉRIAS-PRIMAS

No processo de fabricação de tintas, os constituintes são selecionados meticulosamente, levando em consideração aspectos qualitativos e quantitativos, a fim de satisfazer os critérios estipulados, tais como: resistência, aparência, finalidade e custo. Os componentes da tinta abrangem: solventes, aditivos, pigmentos, cargas e resinas (SANTOS *et al.*, 2023).

2.2.1 Resinas

A resina é um veículo não volátil que confere às tintas propriedades de coesão e adesão. Esse importante componente tem função determinante nas características das tintas, sendo responsável pela aglomeração das partículas de pigmentos, transformando o produto do estado líquido para o sólido e formando a película de tinta (BARRIOS, 2017). Segundo Canaud (2007), Ifijen *et al.* (2022) e Kyei *et al.* (2022) as principais resinas utilizadas pelas indústrias são sintéticas e podem ser classificadas como resinas alquídicas, epóxi, poliéster, emulsões vinílicas e nitrocelulósicas. A resina alquídica é um polímero obtido pela esterificação de poliácidos e ácidos graxos com poliálcoois. São usadas para tintas que secam por oxidação ao ar ou polimerização por calor. A resina epóxi é formada pela reação do bisfenol com epícloridrina. São utilizadas em tintas para revestimento de tubos, tintas em pó, vernizes, etc. A resina poliéster são ésteres obtidos por reação entre ácidos e álcoois. São utilizadas na fabricação de primers e acabamentos de cura à estufa, combinadas com resinas amínicas, epoxídicas ou com poliisocianatos bloqueados e não bloqueados. As emulsões vinílicas são polímeros obtidos na copolimerização em emulsão de acetato de vinila com um monômero. São usadas nas tintas látex vinílicas e vinil acrílicas. A resina nitrocelulósica é obtida pela reação de celulose com ácido nítrico, na presença de ácido sulfúrico. Possui

grande uso na obtenção de lacas, em composições de secagem rápida para pintura de automóveis, objetos industriais, móveis de madeira, aviões, brinquedos e papel celofane.

2.2.1.1 Resinas Acrílicas

Os polímeros são formados pela polimerização de monômeros acrílicos e metacrílicos, sendo que, ocasionalmente, o estireno é copolimerizado com esses monômeros. A polimerização desses monômeros em emulsão (à base de água) resulta nas chamadas emulsões acrílicas, que são utilizadas nas tintas látex. A polimerização em solvente leva à formação de uma resina adequada para esmaltes termoconvertíveis (que curam com resinas melamínicas) ou em resinas hidroxiladas para cura com poliisocianatos, resultando nos denominados poliuretânicos acrílicos. Esta descrição destaca o processo de formação de diferentes tipos de resinas utilizadas na indústria de tintas (AALTO-KORTE, 2020).

As emulsões aquosas vinílicas e acrílicas constituem uma classe muito importante de veículos para tintas, pois combinam vantagens dos monômeros com o uso da água em substituição aos solventes orgânicos. As consequências do emprego das emulsões são traduzidas em vantagens econômicas, segurança e menor capacidade poluidora, facilidade de aplicação (FAZENDA, 2005).

Assim como qualquer outro tipo de resina, a função primária das emulsões é atuar como veículo para agregação de todos os demais componentes de uma tinta. Desta forma, deverá promover boa combinação e aglutinação entre os pigmentos, dióxido de titânio, cargas e outras matérias primas utilizadas numa formulação (NASCIMENTO *et al.*, 2023).

As resinas acrílicas ajudam no acréscimo de brilho, flexibilidade, resistência química e formação de barreiras. Essa matéria-prima é responsável pela formação da película protetora, na qual se converte a tinta depois de seca. Ainda proporciona vantagens, como maior durabilidade e resistência ao intemperismo (SANTOS *et al.*, 2023).

As resinas acrílicas termoplásticas são um exemplo de utilização em revestimentos de repintura automotiva e equipamentos eletrônicos, devido a sua capacidade de secagem sem que haja mudança na natureza química da mesma, isso porque é baseada no homopolímero polimetacrilato de metila, formando um polímero de alta dureza e excelente resistência à intempérie (FAZENDA, 2009)

Em seu estudo da utilização de resina em tintas automotivas a base de água, Oliveira & Maniasso (2023) conclui que sem a resina, não seria possível ter um revestimento com a

função protetiva a qual ele desempenha, ou seja, sem a resina não há revestimento e também sem a resina acrílica ele perderá principalmente a sua dureza.

Recentemente há frequente utilização de nanomateriais para melhorar a resina acrílica. O estudo de Fatemeh *et al.* (2023) mostra a incorporação de nanofolhas de grafeno e nanopartículas de prata em tintas acrílicas afim de verificar a atividade antimicrobiana e seus resultados foram satisfatórios para ambos nanomateriais.

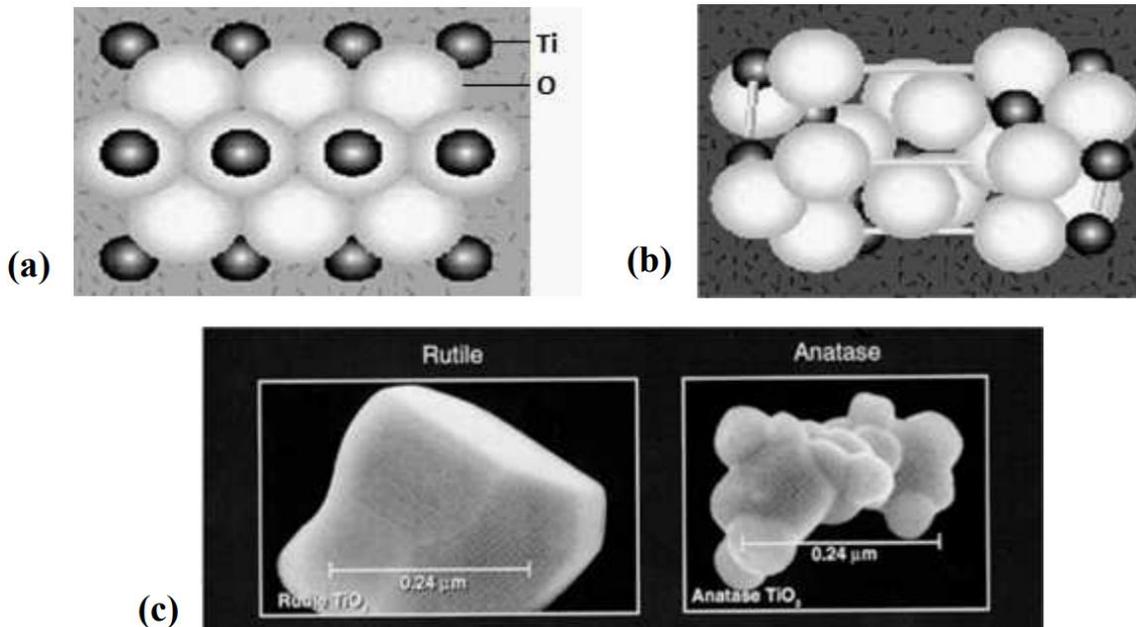
2.2.2 Pigmentos

Os pigmentos, que são partículas sólidas que não se dissolvem na resina, têm várias funções, incluindo a proteção contra corrosão, a obtenção da cor desejada, a opacidade e a impermeabilidade (CHRISTIE, 2021). Este material é incorporado à tinta, formando uma dispersão de estabilidade relativa. Segundo Weg (2018), os pigmentos podem ser categorizados em: orgânicos, inorgânicos, opacificantes e ativos. Os pigmentos orgânicos, que conferem opacidade e são responsáveis pela cor, possuem baixa densidade, alto brilho e resistência química limitada à ação de raios ultravioleta. Os pigmentos inorgânicos, que também proporcionam cor à tinta, podem ser empregados como cargas e anticorrosivos. Eles se caracterizam por ter maior densidade que os orgânicos, menos brilho e maior resistência química e à ação de raios ultravioleta. Os pigmentos opacificantes são usados para proporcionar opacidade e cor, com o objetivo de cobrir o substrato. Os pigmentos ativos incluem os tintoriais, anticorrosivos e especiais. Os pigmentos inertes atuam como reforçantes e encorpantes, também conhecidos como cargas.

2.2.2.1 Dióxido de Titânio

O dióxido de titânio (TiO_2) é um material que apresenta polimorfismo, manifestando-se em três formas distintas: rutilo (tetragonal), anatase (tetragonal) e brookita (ortorrômbica). Comparado a outros materiais, todas as três formas exibem um alto índice de refração e grandes *band gaps*. A brookita, sendo instável, tem pouco interesse comercial. A forma de rutilo se desenvolve sob altas temperaturas, aproximadamente 900°C , enquanto a anatase se forma em temperaturas mais amenas, por volta de 450°C . As estruturas cristalinas dessas formas estão ilustradas na figura 1 (MICHELOTTI, 2019; AMORIM, 2017; PREUSS, 2016).

Figura 1 - Estrutura cristalina do dióxido de titânio (a) rutilo (b) e anatase. (c) Imagens obtidas com microscópio eletrônico de transmissão (MET).



Fonte - Ramirez, (2014).

A fase anatase é empregada em processos de fotocatalise, graças à sua notável fotorreatividade. Em comparação com o anatase, os cristais de rutilo possuem uma estrutura mais densa, o que resulta em diferenças nas propriedades entre as duas formas, incluindo um índice de refração mais elevado, maior estabilidade e densidade mais alta. O rutilo é reconhecido por suas eficazes propriedades de dispersão de luz, sendo amplamente empregado como pigmento refletivo em revestimentos (BATTISTI, 2016; MAN CHING *et al.*, 2022). Segundo Gao, Wu & Fan, (2014), os revestimentos reflexivos de dióxido de titânio encontram aplicações em produtos, tais como: em filtros ópticos, cosméticos, plásticos, produtos impressos, cerâmica, tintas industriais e tintas automotivas.

Preuss (2016) descreve as propriedades físicas gerais dos principais pigmentos de dióxido de titânio, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas gerais dos principais pigmentos de dióxido de titânio

Propriedades	TiO ₂ Anatase	TiO ₂ Rutílico
Aparência	Pó branco brilhante	Pó branco brilhante
Densidade (g/cm³)	3,70 – 3,85	3,75 – 4,15
Índice de refração (500nm)	2,55	2,71
Estrutura cristalina	Prisma tetragonal	Tetragonal
Absorção de óleo (g/100 g)	20 - 24	17 – 40
Tamanho médio de partícula (µm)	0,14 – 0,15	0,17 – 0,24
Área superficial (m² /g)	10 - 14	7 - 30
Dureza Mohs	5,5	6,5 – 7,0
Band gap (eV)	3,29	3,05

Fonte – Preuss, (2016).

2.2.3 Cargas ou extensores de TiO₂

As cargas são minerais industriais com natureza semelhante à dos pigmentos, também conhecidas como reforçantes e encorpantes, e que apresentam aspecto translúcido nas resinas, não intervindo na cobertura e tonalidade da tinta. As cargas desempenham papel no reforço da película, ajuste de brilho e consistência do produto. As cargas mais utilizadas são os carbonatos, silicatos, sílicas e sulfatos (WEG, 2018).

Esses minérios apresentam características de brancura e granulometria adequadas para serem utilizadas na produção de tintas látex e seus complementos, esmaltes sintéticos foscos e acetinados, tintas a óleo, entre outros. Ademais, o produto diminui os custos de produção da tinta, pois substitui parte do pigmento anticorrosivo (ativo) e parte da resina. Por fim, aperfeiçoa propriedades como cobertura e resistência às intempéries (MAN CHING *et al.*, 2022).

2.2.3.1 Carbonato de Cálcio Precipitado (PCC)

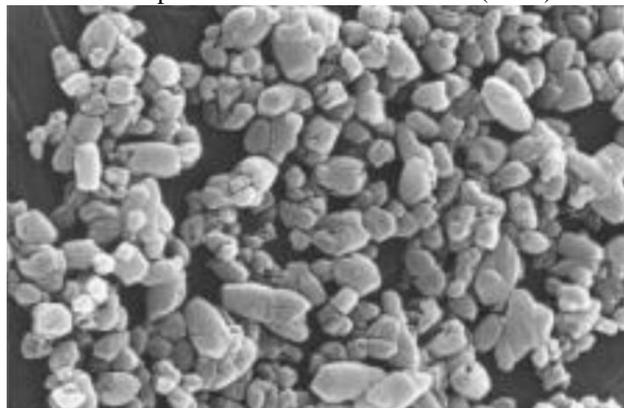
O carbonato de cálcio precipitado (PCC) é produzido através do processo químico conhecido como carbonatação. Este processo inicia com a calcinação do calcário natural, resultando em óxido de cálcio e dióxido de carbono. Posteriormente, o óxido de cálcio é hidratado para formar hidróxido de cálcio, que reage com o dióxido de carbono gerado na etapa de calcinação, resultando no PCC. Este possui a mesma composição química do CaCO₃. O uso do PCC é justificado por duas razões principais. Primeiro, durante a produção do PCC,

ocorrem etapas que visam purificar o carbonato de cálcio, eliminando as impurezas presentes no calcário extraído das minas. Segundo, o processo de fabricação permite um controle operacional que resulta em formas e tamanhos específicos dos cristais. Estes cristais apresentam diferentes formas e propriedades físicas, incluindo variações na densidade aparente do pó e na área superficial específica (BARBOSA, 2021; ZAMBARE *et al.*, 2020).

Segundo Castro (2009), na indústria de tintas é comum o uso como carga, tanto do carbonato de cálcio natural (GCC, do inglês *ground calcium carbonate*) como do carbonato de cálcio precipitado (PCC, do inglês *precipitated calcium carbonate*). O GCC melhora a resistência à abrasão do filme, no entanto, aumenta a sua rigidez. O PCC é uma carga branca, de baixa granulometria e elevado poder de cobertura quando comparado com outras cargas e se caracteriza por ser muito porosa e ter elevada absorção de óleo, o que demanda maior quantidade de resina, além de diminuir a resistência à abrasão e tornar a tinta fosca. Quando empregado em tintas, o PCC substitui parcialmente os pigmentos de cobertura, como o TiO_2 , reduzindo o custo da formulação.

Em 1949, Siesholtz e Cohan verificaram que o CaCO_3 de menor tamanho, que possui maior área superficial específica, faz parte de uma classe de extensor de pigmento muito importante, já que estas partículas aumentam a consistência e a cobertura a seco da tinta. O PCC apresenta diferentes morfologias, dependendo das condições operacionais (temperatura, pressão e outros) e, no entanto, apresenta partículas mais uniformes e regulares, como mostra a figura 2 em que o tamanho médio de partículas é $0,7\mu\text{m}$.

Figura 2 - Imagens obtidas com microscópio eletrônico de transmissão (MET) Carbonato de cálcio precipitado.



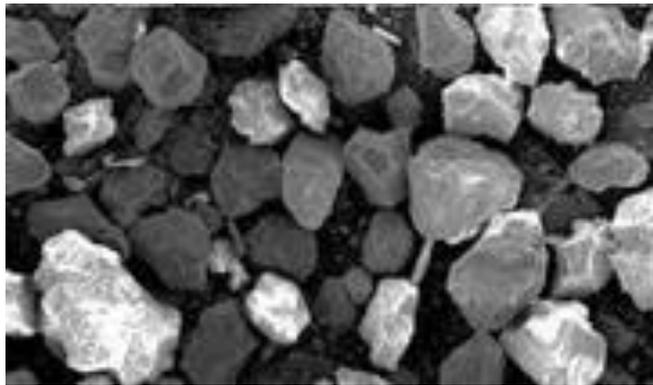
Fonte – Mineral technologies, (2013).

2.2.3.2 Dolomita

A dolomita, um carbonato duplo de cálcio e magnésio com fórmula química ($[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$), é vista como um extensor primário devido ao seu baixo custo e à capacidade de conferir à tinta propriedades similares às do carbonato de cálcio natural (HAMIZAH *et al.*, 2020).

Sua baixa absorção de óleo permite que seja incorporada em grandes quantidades nos *slurries*, o que contribui para a redução dos custos da tinta. A dolomita é um pó branco, inodoro e insolúvel, com uma forma geométrica nodular, conforme ilustrado na Figura 3. Sua dureza mediana facilita a moagem e a dispersão, e seu uso aumenta a resistência da tinta à lavabilidade e promove sua estabilização (PANDEY *et al.*, 2023; FAZENDA, 2009).

Figura 3 - Microscopia da carga dolomita.



Fonte – Fazenda, (2009).

2.2.3.3 Caulim

O silicato de alumínio hidratado, cuja fórmula química é $\text{Al}_2[(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]$, é um argilomineral de granulação fina, conhecido por seu comportamento plástico, que é resultado de sua estrutura lamelar, como ilustrado na Figura 4. É frequentemente usado como extensor do TiO_2 , e sua estrutura lamelar contribui para melhorar a aplicabilidade da tinta, bem como sua textura, resistência ao lixamento e propriedades de barreira e vedação (DE ALMEIDA *et al.*, 2023; KASUMBA *et al.*, 2022).

Este material é amplamente utilizado em todos os sistemas de tintas. Devido ao seu formato lamelar, proporciona um acabamento de superfície mais uniforme e uma boa cobertura. Além disso, sua capacidade de adsorção promove uma melhor aderência entre as partículas e o polímero, melhorando a resistência à lavagem. Confere flexibilidade e, devido à

sua morfologia, o caulim possui uma maior resistência à sedimentação, garantindo uma melhor estabilidade ao sistema (KASUMBA *et al.*, 2024; CASTRO, 2009).

Figura 4 - Imagens obtidas com microscópio eletrônico de transmissão (MET) Caulim



Fonte – Santos, (2010).

2.2.3.4 Fatores que influenciam na escolha das cargas

A seleção adequada de uma carga mineral é influenciada por uma variedade de fatores. De acordo com Bhavsar *et al.* (2022) e Svyatchenko *et al.* (2020), os critérios mais importantes para a escolha de uma carga mineral incluem a alvura, a granulometria, o brilho, a reologia, o tempo de dispersão, a cobertura, a lavabilidade e a uniformidade da aparência do filme.

A qualidade final da tinta é determinada pela alvura. É essencial que o mineral possua uma alvura consistente, sem variações de lote para lote. Os minerais mais brancos incluem o carbonato de cálcio (primeira faixa) e talco, caulim, barita, algamolito, quartzo, mica e dolomita (segunda faixa). Um mineral de qualidade é aquele que exibe um padrão de alvura uniforme, o que só pode ser alcançado através de um controle de qualidade rigoroso, desde a extração e moagem até a inspeção final (VALANČIUS *et al.*, 2022; KASUMBA *et al.*, 2024)

A granulometria é estabelecida para garantir a adequação do mineral, uma vez que influencia as seguintes características finais de uma tinta: floculação, brilho, reologia, aparência e uniformidade do filme, tempo de dispersão, lavabilidade e cobertura (MOURA, 2023).

Floculação é o fenômeno em que as partículas de um pigmento tendem a se aglomerar, resultando em uma diminuição da eficiência na uniformidade da intensidade das cores (MATSUMOTO, 2022).

O tamanho das partículas de um mineral tem um impacto significativo no brilho. Uma carga mais fina absorve mais óleo, o que, por sua vez, aumenta a opacidade da tinta (PINTO, 2021).

Em termos de reologia, a diminuição do tamanho das partículas de uma carga favorece a estabilidade da dispersão e o aumento da viscosidade. Este aumento tixotrópico auxilia na prevenção da floculação, limitando a mobilidade dos pigmentos. Além disso, a redução do tamanho das partículas ajuda a aumentar a viscosidade, o que por sua vez reduz a probabilidade de migração do pigmento (MACHADO *et al.*, 2022).

A estética e a uniformidade do filme têm uma relação direta com o tamanho das partículas - quanto menores as partículas, mais agradável é a aparência. O tempo de dispersão está mais associado ao custo do que à técnica. Com partículas menores, o tempo de dispersão e moagem é reduzido. A dureza da carga também influencia o tempo de dispersão (BI *et al.*, 2021).

Em relação à lavabilidade, partículas mais grossas proporcionam uma maior resistência à abrasão, o que aumenta o número de ciclos de lavabilidade. A forma específica do material também influencia este fator. Por exemplo, cargas lamelares, como caulim, talco e mica, aprimoram a lavabilidade ao diminuir o coeficiente de atrito. Cargas mais resistentes melhoram a resistência à abrasão (SANTOS *et al.*, 2023).

A cobertura melhora significativamente com a presença de partículas finas na carga. Por isso, as cargas que passaram por processos de micronização, flotação ou precipitação apresentam um poder de cobertura superior em comparação às cargas que foram apenas moídas (MOURA, 2023).

2.2.4 Solventes

Os solventes, sejam eles orgânicos ou aquosos, são responsáveis por conferir à tinta uma consistência líquida com uma viscosidade específica. Quando a tinta é aplicada, o solvente evapora, deixando uma camada de revestimento seco no substrato (BAIJ *et al.*, 2020).

Quanto aos solventes orgânicos, eles podem ser categorizados em dois grupos principais: hidrocarbonetos e oxigenados. Os hidrocarbonetos incluem alifáticos e aromáticos, enquanto os oxigenados compreendem álcoois, acetatos, cetonas e éteres, entre outros. Por outro lado, as tintas à base de água usam a água como componente volátil, adicionando apenas uma pequena porção de líquidos orgânicos compatíveis (SPARDHA *et al.*, 2020).

A água utilizada nessas tintas deve ser tratada, pura, sem contaminantes e com pH neutro ou ligeiramente básico (WEG, 2018).

A seleção do solvente é feita considerando a solubilidade das resinas, a viscosidade que se deseja para o produto acabado e o método de aplicação (PANDEY *et al.*, 2020).

Na formulação de tintas, o fabricante utiliza uma mistura de solventes, com o intuito de balancear sua proporção visando obter boa solvência, tempo de secagem apropriado, perfeita formação da película e menor custo. Alguns componentes orgânicos são muito tóxicos e por isso o seu uso em tintas deve ser evitado (WEG, 2018).

Devido aos diversos efeitos no ambiente e na saúde humana, medidas mais rigorosas legislação foi recentemente imposta às indústrias de revestimento para reduzir o quantidade de solventes voláteis perigosos. Existem duas abordagens principais para tornar os revestimentos ecologicamente corretos. A primeira maneira é usar solventes que não sejam perigosos para a saúde e o ambiente, bem como a utilização de equipamento que possa coletar vapores perigosos durante a aplicação de revestimentos. O segundo método é desenvolver com solventes a base de água (JAVADI, 2020).

Os revestimentos à base de água utilizam água como solvente para dispersar resinas, portanto tornando esses sistemas fáceis de aplicar e ecologicamente corretos. Em geral, a água os revestimentos contêm pelo menos 80% de água com pequenas quantidades de outros solventes, incluindo éteres glicólicos. Além disso, a crescente importância dos revestimentos à base de água reside na importância biológica e ambiental da água como um solvente universal de ocorrência natural (BELLOTTI *et al.*, 2020).

2.2.5 Aditivos

Os aditivos, quando adicionados à tinta, proporcionam várias propriedades, incluindo estabilidade, aplicabilidade, qualidade e a aparência do filme. Eles são incorporados na formulação total das tintas em proporções que não ultrapassam 5%. (SOLANO *et al.*, 2020; MOURA, 2023).

Os aditivos de cinética são subdivididos em secantes, catalisadores e anti-peles. Os secantes promovem ou aceleram a secagem, cura ou endurecimento da resina. Os aditivos catalisadores são utilizados para acelerar reações que ocorrem de forma lenta devido a determinadas condições de temperatura, concentração, entre outras características. E os aditivos anti-peles são utilizados para evitar a formação ou crescimento da película na

superfície da tinta, que é comumente formada quando o recipiente está parcialmente preenchido ou aberto (ABRAFATI, 2023).

Segundo Hillen *et al.* (2018), todos os aditivos de reologia têm como objetivo regular de forma segura e prática as características de fluidez das tintas produzidas, estes podem ser espessantes e de antiescorrimento. Os aditivos de processo têm como objetivo facilitar o processo produtivo e podem ser surfactantes, nivelantes, antiespumantes, umectantes e dispersantes.

Os aditivos de preservação podem ser estabilizantes de ultravioletas que tem a função de amenizar a ação destrutiva da radiação ultravioleta provinda da luz solar sobre as tintas, e biocidas que visam prevenir a contaminação biológica causada por microrganismos, como fungos, bactérias e algas (SOLANO *et al.*, 2020).

Na Tabela 2 são apresentados alguns dos aditivos mais utilizados na formulação de tintas.

Tabela 2 - Função dos principais aditivos.

ADITIVO	FUNÇÃO
Antiespumante	Evitam a formação de espuma na fabricação das tintas
Bactericidas	Previnem a degradação por bactérias no interior do recipiente que contém a tinta ou da película aplicada
Fungicidas	Previnem a degradação por fungos no interior do recipiente que contém a tinta ou da película aplicada
Dispersantes	Impedem a aglomeração de pigmentos
Espessantes	Proporcionam viscosidade e fluidez adequada para aplicação da tinta
Inibidores de corrosão	Evitam o aparecimento de óxido enquanto a tinta seca
Surfactantes não iônicos	Promovem estabilidade estérica
Amoníaco	Estabiliza o espessante (permite a penetração da cor) (surfactante catiônico)
Modificador reológico - associativo	Proporcionam fluidez e viscosidade para a aplicação da tinta (espessante)
Tingimento	Ajustar a cor
Umectantes	Aumentam a molhabilidade das cargas e pigmentos

Fonte – Weg, (2018).

2.3 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE TINTAS

A fabricação de tintas na indústria é realizada em lotes, o que auxilia no desenvolvimento da cor e permite ajustes após as análises. Normalmente, o processo de

produção dessa tinta inclui as seguintes etapas: pré-mistura e dispersão, completagem, filtração e envase (REY *et al.*, 2021).

Cada variedade de tinta se distingue principalmente pelas matérias-primas empregadas em sua fabricação e, conseqüentemente, suas aplicações. Por exemplo, as resinas acrílicas são usadas em produtos à base de água, enquanto as resinas alquídicas são usadas em produtos à base de solvente. A fase de dispersão é particularmente notável devido à sua complexidade, que envolve tempo, quantidade de carga e quantidade de solvente (SURYA *et al.*, 2021).

2.3.1 Análises de controle de qualidade

Segundo Lee *et al* (2018), a qualidade é um projeto desenvolvido para satisfazer os consumidores, que estão cada vez mais conscientes e exigentes, buscando produtos e serviços superiores. Além disso, visa controlar o processo de fabricação. É essencial ter um planejamento, controles e métodos para garantir que os produtos de diferentes lotes mantenham a mesma qualidade. Tanto as matérias-primas quanto o produto final são analisados.

O controle de qualidade se concentra em três aspectos cruciais: a análise dos componentes das matérias-primas e do produto final, a aderência à metodologia de análise para otimizar a funcionalidade de cada produto e a elaboração de relatórios sobre as matérias-primas e os produtos acabados (KLOCHKOV *et al.*, 2020).

Na indústria de tintas, existem dois tipos de controle de qualidade: o controle de qualidade voltado para o desenvolvimento de produtos e o controle de qualidade de produção, que é realizado em lotes. No desenvolvimento de produtos, são avaliados aspectos como resistência à abrasão, brilho, absorção de água, alvura, formação de filme e degradação. Por outro lado, no controle de produção, são analisados o pH, o peso específico e a viscosidade (DIETRICH, 2021).

2.3.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) reflete a intensidade da acidez ou alcalinidade em um determinado ambiente. As substâncias alcalinas têm um pH acima de 7,0 e tendem a criar depósitos, enquanto as substâncias ácidas, que têm um pH inferior a 7,0, geralmente são corrosivas (RONALD *et al.*, 2022). Assim, a alcalinidade pode ser interpretada como a

habilidade da água de neutralizar ácidos, enquanto a acidez é a capacidade de neutralizar bases (DA SILVA *et al.*, 2016). No processo de fabricação de tintas, há alguns fatores que podem contribuir com a desestabilização do produto. Verifica-se essa desestabilização com a medição do pH.

Na prática, uma redução do pH em relação ao padrão pode resultar em efeitos indesejáveis, como o crescimento de microrganismos, que por sua vez pode causar mau cheiro, diminuição da qualidade da cor, formação de um filme com pouca aderência e baixo brilho (PANDEY, 2020). Por essa razão, neste procedimento, é essencial controlar o pH e ajustá-lo para os limites apropriados (limite padrão de 9,20 a 9,80) ao final do processo, a fim de garantir uma boa estabilidade (ORJIAKOR, 2020).

2.3.1.2 Viscosidade

Para manter uma viscosidade estável é necessário assegurar a eficiência de espessamento. A funcionalidade dos espessantes acrílicos devem neutralizar os grupos ácidos carboxílicos nas cadeias das resinas acrílicas (DILLON, 2018). A viscosidade está inversamente associada à temperatura, com a temperatura alta, a viscosidade diminui e ela aumenta com a baixa da temperatura. Quando os pigmentos são adicionados durante a produção de tintas, a viscosidade pode sofrer variações.

Na fase final são utilizados modificadores reológicos a fim de conferir ao produto uma viscosidade que atenda uma aplicação adequada, facilitando a utilização de aparelhos como pinceis, rolos, pistolas e etc. Sabe-se que, no armazenamento, a viscosidade deve seguir um padrão para evitar sedimentação dos pigmentos e, na aplicação, deve ser adequado para facilitar o alastramento, evitar escorrimento e problema de baixa espessura (MACHADO *et al.*, 2022). Dependendo da linha da tinta, temos o padrão da viscosidade das tintas Econômicas que são de 75 a 85 KU, para tintas Standard de 100 a 120 KU e tintas Premium de 90 a 100 KU.

Segundo Eley (2019), a reologia está bem relacionada com o desempenho das tintas imobiliárias, e é importante que alguns requisitos de aplicação sejam levados em consideração, como: fluxo e nivelamento aceitáveis para cada aplicação, ausência de marcas de escorrimento ou gotejamento, facilidade de aplicação por pincel, resistência a respingos quando se usa rolos, tempo de abertura suficiente para retirar ou espalhar novamente e resistência a fluxos induzidos por tensão superficial indesejados.

2.3.1.3 Peso Específico

O conhecimento da massa específica da tinta é importante no controle de qualidade, pois, ela é usada no cálculo do teor de sólidos por volume. É importante para converter volume em massa, isto é, como as tintas são comercializadas em volumes, litros ou galões (18 L e 3,6 L), é necessário conhecer a massa daquele volume de tinta comprada (MACHADO *et al.*, 2022). Além disso, de acordo com o resultado, é possível identificar possíveis erros na produção. Os padrões referentes ao peso específico são para tintas Econômicas de 1,30 a 1,34 g/cm³, para tintas Standard de 1,40 a 1,46 g/cm³ e para tintas Premium de 1,33 a 1,36 g/cm³.

Para o desenvolvimento de produtos, outras análises de controle de qualidade são pertinentes como brilho e lavabilidade.

2.3.1.4 Brilho

O Glossmeter é um dispositivo que permite medir o brilho de uma tinta. Ele funciona ao projetar um feixe de luz na superfície de um objeto e capturar a luz refletida em um ângulo idêntico, semelhante a um espelho, por um fotodetector. A intensidade da luz refletida, que é maior para objetos mais brilhantes, é então medida pelo fotodetector. Vale ressaltar que a quantidade de brilho da tinta está diretamente relacionada à quantidade de pigmentos presentes na composição (ONYENEKENWA, 2016).

O Brilho é uma propriedade óptica que é usada para quantificar quão bem uma superfície reflete a luz em uma direção especular ou semelhante a um espelho. Separado da influência mais evidente do acabamento brilhante no valor estético de produtos ou itens, sua influência se estende a inúmeras áreas de engenharia. Os termos brilhante e fosco são as extremidades opostas no escala de avaliação de brilho. Superfícies brilhantes são brilhantes e capaz de refletir a maior parte da luz no espectro especular ou semelhante a um espelho, enquanto as superfícies foscas são menos em termos de nível de brilho pois a maior parte da luz incidente nas superfícies se difunde em ângulos diferentes (GUPTA *ET AL*, 2016 ; GANA & THOMAS, 2020)

2.3.1.5 Lavabilidade

É a característica que a tinta deve ter em resistir a limpeza e a remoção de manchas, sem afetar a sua característica, em determinado tempo, mantendo a integridade da película.

Esse teste é importante para tintas látex que irão sofrer resistência a abrasão e de inteperes (MALAKI *et al*, 2018).

A ABNT NBR 15078:2006 define a resistência à abrasão como a capacidade de uma película de tinta resistir ao desgaste mecânico ocasionado pela escovação. Para se obter a resistência à abrasão sem pasta abrasiva deve-se medir o número de ciclos necessários para remover pelo menos 80% da área percorrida pela escova. No caso da resistência à abrasão com pasta abrasiva, a ABNT NBR 14940:2021 determina que seu resultado se refere ao número de ciclos necessários para obtenção de um desgaste com forma de uma linha contínua e paralela ao sentido da escovação sobre o ressalto na película de tinta.

2.4 MERCADO

O mercado global de tintas e revestimentos foi avaliado em cerca de US \$ 137.100 milhões em 2021 e espera-se que registre um CAGR (Taxa de crescimento anual composto) de mais de 4% durante o período de previsão 2022-2027. Os principais fatores que impulsionam o mercado estudado são o rápido aumento das atividades de construção, o crescimento do mercado de móveis e a diversificação das indústrias de petróleo e outras no Oriente Médio. A Ásia-Pacífico dominou o mercado em todo o mundo, com o maior consumo de países como China, Índia e Japão (MORDOR INTELLIGENCE, 2022).

O Brasil é um dos Cinco maiores mercados mundiais de tintas. Fabricam-se no país tintas destinadas a todas as aplicações, com tecnologia de ponta e grau de competência técnica comparável a dos mais avançados centros mundiais de produção. Há centenas de fabricantes de grande, médio e pequeno porte espalhados por todo País. O ano de 2022 teve um aumento de 4% no volume de tintas produzidas no país e o setor de tintas imobiliárias é responsável por 82,5% da produção (ABRAFATI, 2022).

2.5 DEFEITOS E FALHAS MAIS COMUNS EM TINTAS IMBOLIÁRIAS

A degradação e a redução das propriedades de desempenho são inevitáveis em todos os revestimentos orgânicos ao longo do tempo. O desempenho de um revestimento é influenciado por cinco elementos principais: o substrato no qual é aplicado, a limpeza e o estado da superfície do substrato, o método de aplicação utilizado, a qualidade e a formulação do material do revestimento, e as condições ambientais às quais o revestimento está exposto (NAZARI *et al.*, 2022).

As tintas imobiliárias acrílicas exteriores são projetadas para proteger paredes e as áreas externas dos edifícios dos efeitos causados pelos fenômenos climáticos, como chuva e sol, por exemplo. Nesse sentido, cabe destacar que a chuva pode causar não apenas infiltração, mas também fazer com que a parede fique úmida, podendo, com isso, perder sua solidez. Além de permitir que a umidade passe para o interior do imóvel, acarretando maiores prejuízos (REVPROL, 2021). A figura 5 mostra a superfície de parede úmida.

Figura 5 - Parede com umidade



Fonte - www.fibraconstrutora.com.br

Problemas de aderência podem ocorrer em pinturas de alvenaria quando a condição da superfície ou a presença de contaminantes impedem a ancoragem correta do produto. Se o revestimento não aderir devidamente à superfície, podem surgir bolhas e/ou inchaço na película de tinta, que, eventualmente, levarão ao descascamento do filme de tinta (PERUCHI *et al.*, 2021). A figura 6 mostra a superfície de parede com inchaço/bolhas.

Figura 6 - Parede com inchaço/bolhas



Fonte - www.fibraconstrutora.com.br

O surgimento de manchas causadas por descascamento ou destruição em tintas acrílicas é conhecido como saponificação. Este defeito é causado pela alcalinidade natural da

cal e do cimento presentes no reboco que, na presença de umidade e em contato com certos tipos de resinas, causam o problema (ŠVARCOVÁ, 2019). O desagregamento é um problema caracterizado pela destruição da pintura, resultando em descascamento e/ou esfarelamento do reboco. Este problema é notável em superfícies com reboco não curado, falta de lixamento, sujeira ou ainda o uso de uma argamassa fraca, tornando-a pulverulenta (GUERRA *et al.*, 2019). A figura 7 mostra a superfície de parede com descascamento.

Figura 7- Parede Descascando



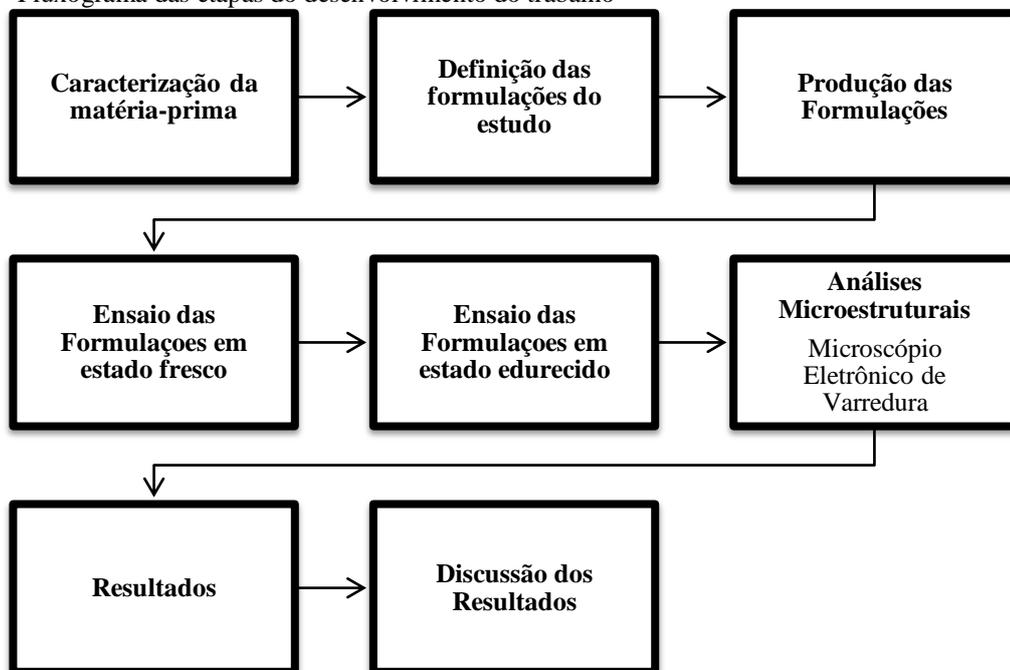
Fonte - bematintas.com.br

Com isso, tem-se despertado um grande interesse na investigação e na produção de produtos que associem excelentes propriedades a conformidade com o meio ambiente, pois a produção de tintas a base de água diminui os riscos a saúde favorecendo assim a utilização no setor imobiliário, e a produção da tinta voltada para a região norte onde as ações por intemperismos são severas pode contribuir para a proteção de superfícies por mais tempo, diminuindo assim gastos com manutenção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As caracterizações das matérias-primas foram feitas no Laboratório de Caracterização de Materiais da Faculdade de Engenharia de Materiais - UFPA (Campus de Ananindeua) e no Laboratório de Microscopia Eletrônica – LME do Museu Paraense Emílio Goeldi. As formulações foram preparadas no laboratório de Práticas Tecnológicas da Faculdade de Engenharia de Materiais - UFPA (Campus de Ananindeua). O ensaio mecânico foi realizado no Laboratório de Formulação de Produtos da AVCO *Chemicals*. A sequência e as etapas do processo do trabalho são apresentadas no fluxograma da figura 8

Figura 8 - Fluxograma das etapas do desenvolvimento do trabalho



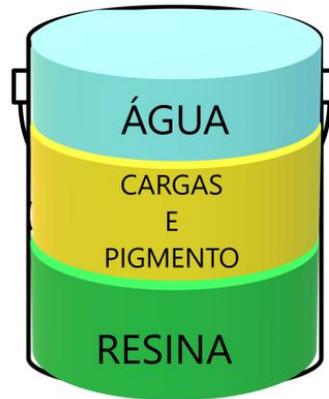
Fonte: Autor, (2024).

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Matérias-primas

Inicialmente foi realizada a escolha da formulação padrão de tinta a base de água já comercializada na região norte como base para o desenvolvimento do estudo. A figura 9 mostra como é dividida a formulação padrão.

Figura 9 - Divisão da formulação padrão



Fonte – Autor, (2024).

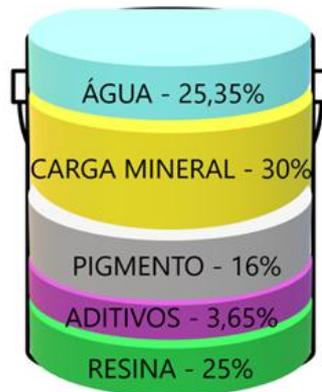
Em seguida, foi feita a escolha dos minerais a serem analisados. Sobre as cargas, por meio da revisão bibliográfica, sabe-se que as mais claras são as mais procuradas, pois, são mais homogêneas na cor, o que possibilita uma maior economia de TiO_2 (Pigmento) e ajudam significativamente para a diminuição do custo final de uma tinta.

Com esta finalidade e, além disso, visando atingir um estudo mais robusto e valioso em relação à influência das diferentes propriedades físicas e químicas das cargas minerais sobre o poder de cobertura, resistência mecânica e ao intemperismo, foram selecionadas três cargas.

O caulim é comercial e encontrado para utilização em tintas, o carbonato de cálcio precipitado comercial é encontrado no mercado em posição de destaque devido à sua grande utilização no setor de tintas, e a dolomita #600 que é encontrada no mercado em diversas granulometrias, sendo as mais finas as mais utilizadas. Todas as matérias-primas utilizadas nesse trabalho foram doadas pela empresa Bravo Brasil.

Em relação à formulação de tinta do estudo, empregou-se através de uma fórmula padrão pré-estabelecida os percentuais para que sejam fabricadas as amostras de tinta fosca imobiliária à base de água, na quantidade de 0,5 kg, contendo 30% de carga mineral e 16% de pigmento primário (TiO_2). Há um movimento atual em direção ao uso de tintas à base de água, devido à crescente preocupação com a conservação e proteção ao meio ambiente (POLITINTAS, 2022). Na figura 10, são apresentados os percentuais dos insumos utilizados na formulação.

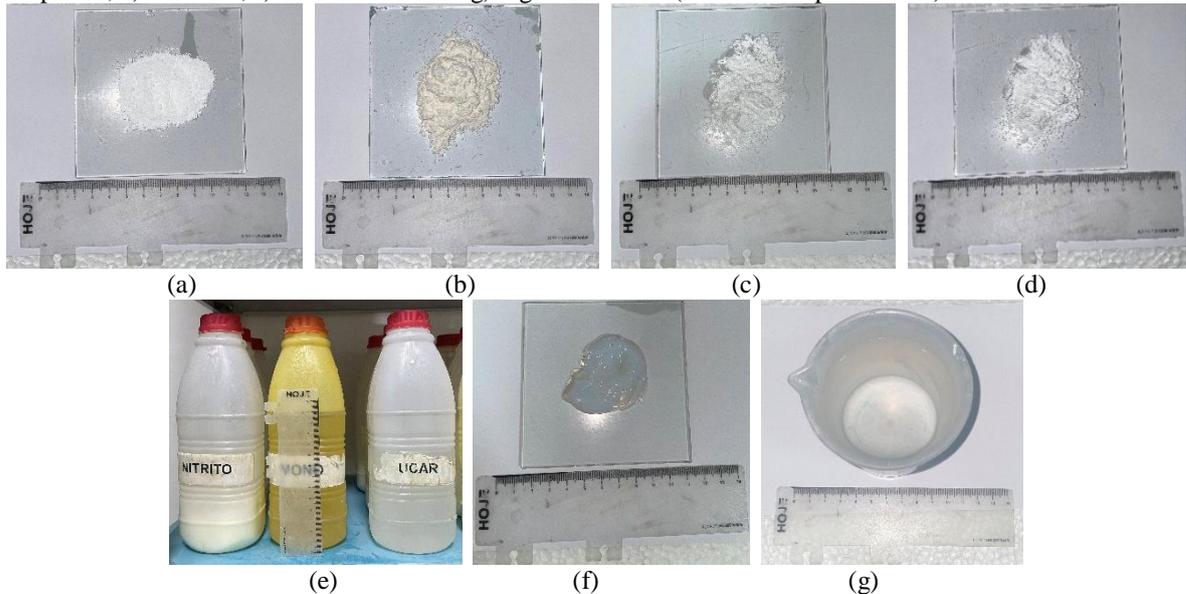
Figura 10 - Formulação pré-estabelecida



Fonte – Autor, (2024).

A figura 11 apresenta as matérias-primas utilizadas na produção das tintas.

Figura 11 - Matérias-primas utilizadas: a) Pigmento, b) Caulim, c) Dolomita, d) Carbonato de Cálcio Precipitado, e) Aditivos, f) Resina Acrílica e g) Água Industrial (Controle de pH e Cloro).



Fonte – Autor, (2024).

3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para a metodologia experimental, procurou-se avaliar a produção das tintas, desempenho mecânico e microestrutural, e caracterização das formulações das tintas. Sendo assim, foram desenvolvidos os seguintes estudos: Caracterização física e química dos materiais utilizados, eficiência e qualidade do produto e avaliação da interface tinta/substrato após a ruptura utilizando prensa hidráulica manual.

3.2.1 Caracterização das matérias-primas

3.2.1.1 Absorção em Óleo

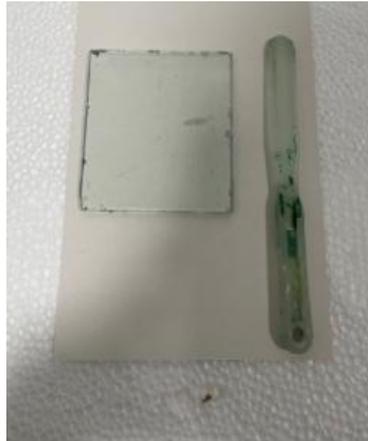
Para a realização do teste de absorção de óleo foram utilizados: óleo de linhaça, placa de vidro, conta gotas, balança analítica e espátula. A balança analítica utilizada é da Marca Bel Modelo S2202H e possui resolução de 0,01g. O teste foi realizado no Dióxido de Titânio, Caulim, Dolomita e PCC. O teste foi realizado no laboratório de Práticas Tecnológicas da Faculdade de Engenharia de Materiais - UFPA (Campus de Ananindeua). O método utilizado para obter este parâmetro foi baseado na ASTM D281-12.

A figura 12 mostra os materiais e equipamentos que foram utilizados e a figura 13 mostra a realização do ensaio.

Figura 12 - Materiais e equipamentos utilizados no teste de absorção em óleo: a) Balança Analítica, b) Espátula e placa de vidro e c) Óleo de linhaça.



(a)



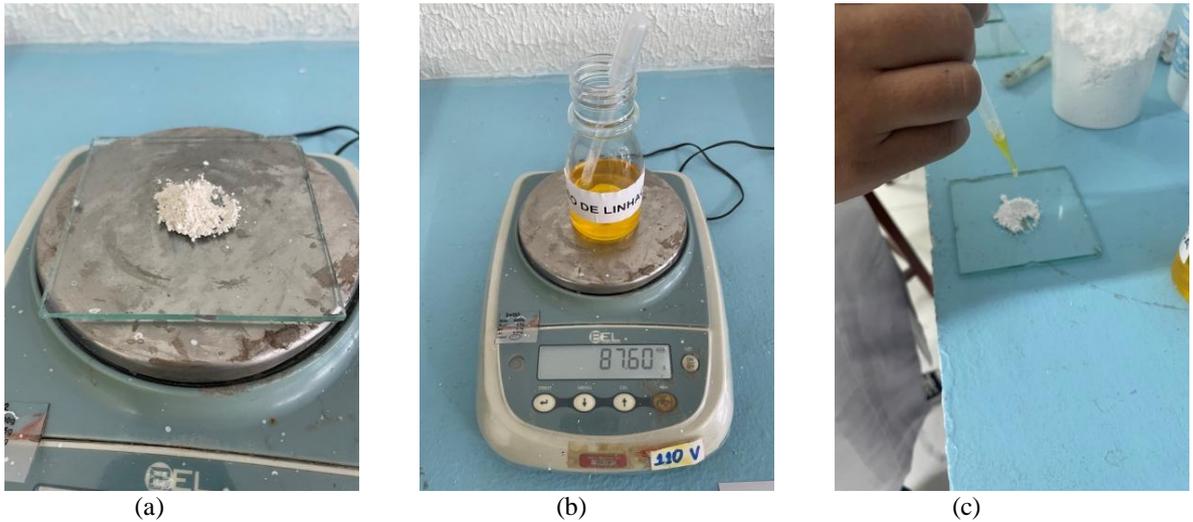
(b)



(c)

Fonte – Autor, (2024).

Figura 13 - Ensaio de absorção de óleo: a) Pesagem da Carga, b) Pesagem do óleo de linhaça e c) Gotejamento do óleo.



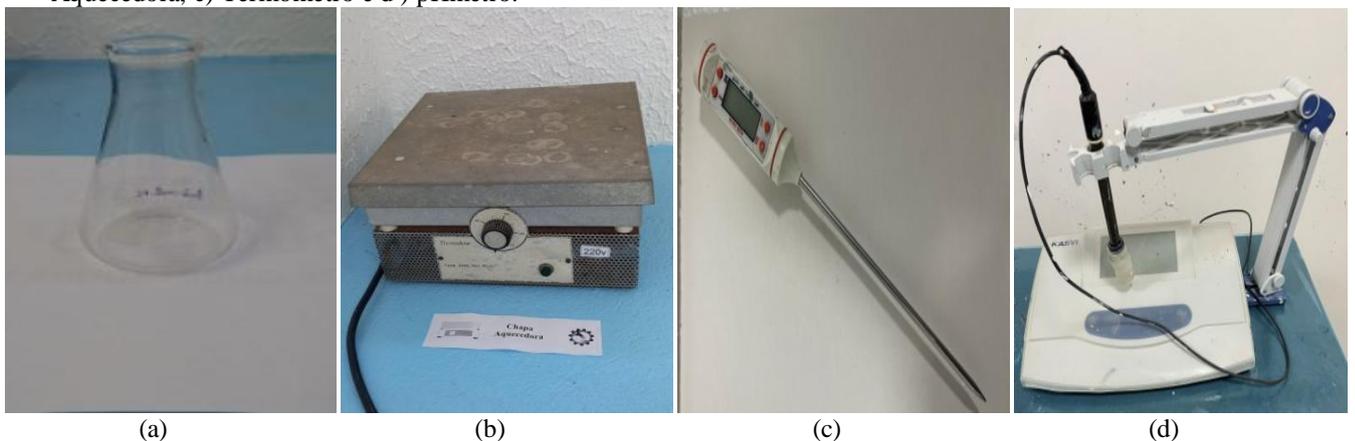
Fonte – Autor, (2024).

3.2.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para a determinação do pH das cargas minerais e da tinta formulada foram necessários: Erlenmeyer, balança analítica, chapa de aquecimento da marca Thermolyne modelo 2200, água destilada, pHmetro da marca Kasvi e termômetro da marca Kasvi. O teste foi realizado no laboratório de Práticas Tecnológicas da Faculdade de Engenharia de Materiais - UFPA (Campus de Ananindeua).

A figura 14 mostra os Materiais e equipamentos utilizados para a realização do ensaio.

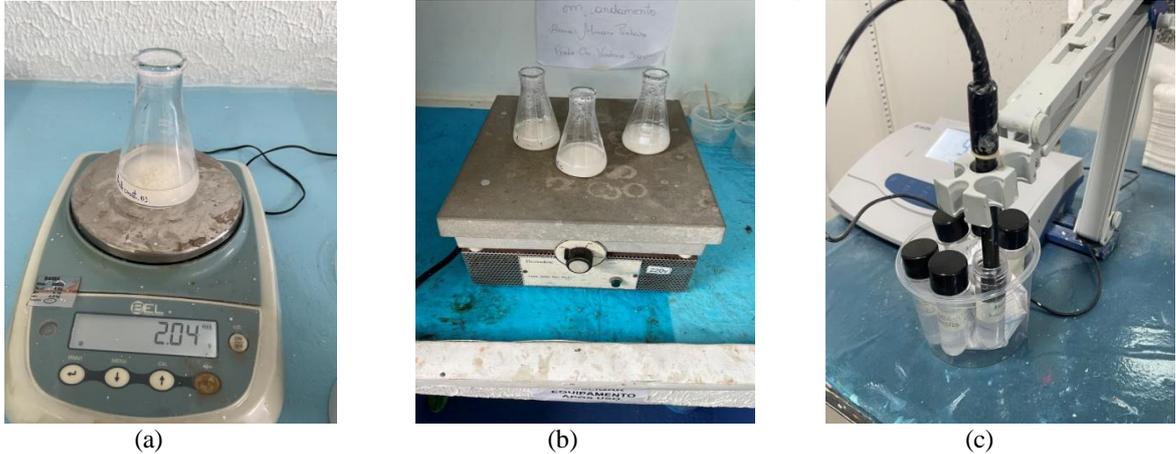
Figura 14 - Materiais e equipamentos utilizados para determinação de pH nas cargas: a) Erlenmeyer, b) Chapa Aquecedora, c) Termômetro e d) pHmetro.



Fonte – Autor, (2024).

A determinação do pH da amostra se fez a partir de material recentemente colhido e com sua umidade natural. O método utilizado para obter este parâmetro foi baseado na ASTM D1208-96. A Figura 15 mostra a realização do ensaio nas cargas minerais.

Figura 15 - Ensaio de pH em cargas minerais: a) Pesagem dos materiais, b) Aquecimento e c) Aferição do pH.



Fonte – Autor, (2024).

3.2.1.3 Fluorescência de Raios-X

Com o objetivo de se obter a caracterização química das Cargas Minerais, foram realizadas análises de Fluorescência de Raios-X. O equipamento utilizado foi o Bruker AXS GmbH – S2 Ranger. A análise foi realizada no laboratório de Caracterização de Materiais (LCM IFPA) - Campus Belém.

3.2.1.4 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

A resina acrílica do estudo foi caracterizada por FT-IR. Os espectros foram registrados no equipamento BRUKER, MODELO: VERTEX 70v na faixa de número de onda de 4000–300 cm^{-1} . A análise foi realizada no Laboratório de Espectroscopia vibracional e altas pressões/UFPA.

3.2.1.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A fim de analisar a morfologia e a distribuição das cargas, e a interface entre tinta e substrato das tintas formuladas, realizou-se o MEV, no Laboratório de microscopia eletrônica do Museu Emilio Goeldi. Para a realização do ensaio foi utilizado o MEV de Marca Tescan e

Modelo MIRA3 com metalizador da marca EMITECH Modelo K550. O feixe de elétrons utilizado foi o secundário.

As análises da morfologia das resinas acrílicas foram feitas no laboratório da Unifesp-campus de Diadema no equipamento de Marca JEOL e modelo JSM-6610.

As cargas foram secas em estufa por 1 hora e então foram analisadas. As resinas foram analisadas na forma de filme e a interface tinta/substrato será analisada após ruptura em prensa hidráulica.

A figura 16 mostra os equipamentos utilizados para a realização do ensaio no Museu Emilio Goeldi.

Figura 16 - (a) MEV Tescan MIRA3 e (b) Metalizador EMITECH K550



(a)



(b)

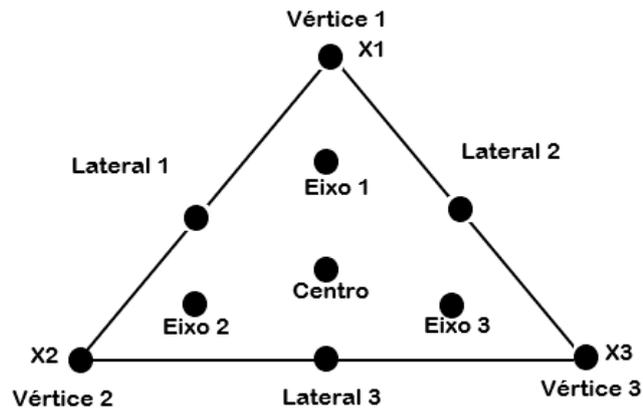
Fonte – Autor, (2024).

3.2.2 Definição das formulações das tintas

O objetivo deste estudo é evidenciar as características das cargas minerais no desempenho da tinta sobre o substrato. Para isso, cada carga mineral foi testada individualmente e em misturas com outras duas cargas, mantendo-se constante o percentual de carga na formulação. Assim, foi possível verificar os efeitos particulares e combinados de cada carga mineral na propriedade de interesse. A formulação da tinta foi composta por uma parte variável (30% em relação a massa total da formulação), que corresponde à mistura das

cargas minerais, e uma parte fixa (70%), que inclui os demais insumos. As interações entre os insumos foram estudadas usando o delineamento experimental do tipo Centróide *Simplex* para modelagem de misturas, conforme Hare (1974). A figura 17 mostra o desenho experimental e a tabela 3 apresenta as formulações e a posição dos minerais no desenho.

Figura 17 - Desenho experimental do tipo centróid simplex.



Fonte – Autor, (2024).

Os vértices são representados pelos pontos 1 a 3 e constituem as formulações mono carga, ou seja, realizadas com somente uma carga mineral (tintas monocargas). Os ensaios de 4 a 6 correspondem a formulações com misturas binárias, possuindo proporções iguais para os componentes e encontram-se nas laterais do triângulo. Já, os pontos situados no interior do triângulo, ensaios de 7 a 9, são referentes a mesclas dos três componentes. No ponto 10, eixo central encontra-se a mistura onde todos os componentes apresentam proporções equivalentes.

Tabela 3 - Proporções das misturas e sua posição no desenho experimental

Ensaio	Mistura	Simplex	X1*	X2*	X3*
Ensaio 1	Mono Carga	Vértice 1	1	0	0
Ensaio 2	Mono Carga	Vértice 2	0	1	0
Ensaio 3	Mono Carga	Vértice 3	0	0	1
Ensaio 4	Binária	Lateral 1	½	½	0
Ensaio 5	Binária	Lateral 2	½	0	½
Ensaio 6	Binária	Lateral 3	0	½	½
Ensaio 7	Ternária	Eixo 1	2/3	1/6	1/6
Ensaio 8	Ternária	Eixo 2	1/6	2/3	1/6
Ensaio 9	Ternária	Eixo 3	1/6	1/6	2/3
Ensaio 10	Ternária	Centro	1/3	1/3	1/3

Fonte – Autor, (2024).

A tabela 4 mostra como foram distribuída as formulações de acordo com os 30% de carga mineral.

Tabela 4 - Detalha as proporções da parte variável do estudo.

MISTURA MONO CARGA	CARGAS MINERAIS		
	CAULIM	DOLOMITA	PCC
30C	30	X	X
30D	X	30	X
30P	X	X	30
MISTURA BINÁRIA			
15C15D	15	15	X
15P15D	X	15	15
15C15P	15	X	15
MISTURA TERNÁRIA			
5P5D20C	20	5	5
5P5C20D	5	20	5
5C5D20P	5	5	20
10C10P10D	10	10	10

Fonte – Autor, (2024).

Neste tipo de experimento, as tintas formadas por somente uma carga, permitem estimativas dos efeitos principais sendo que, as misturas binárias e ternárias levam a estimar as interações destas cargas. Ou seja, é possível verificar o desempenho das três cargas isoladamente ou, de forma combinada. Para o estudo cada Mistura foi produzida em triplicata, totalizando 33 amostras sendo 30 variações do estudo e 3 do Padrão a ser comparado.

3.2.3 Fabricação da Tinta

Para a etapa de fabricação das tintas, foram utilizados: Balança de precisão, dispersor do tipo *Cowless*, furadeira de bancada da Marca Stanley de 5 Rotações e Recipiente para dispersão de 900 ml. A figura 18 mostra os materiais e equipamentos que foram utilizados para a produção das tintas.

Figura 18 - Materiais e equipamentos utilizados para a fabricação das tintas: a) Furadeira de bancada e b) Disco dispersor

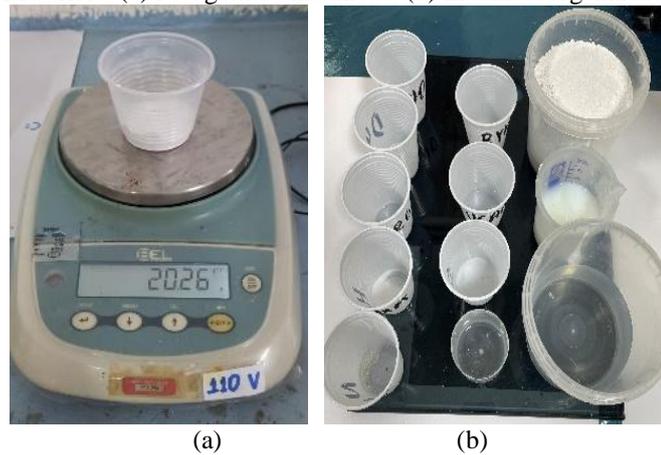


Fonte – Autor, (2024).

A produção, basicamente, passou por três processos: Pesagem, Pré- Mistura e Dispersão e Completagem.

Na pesagem, realizou-se a pesagem dos materiais utilizando balança analítica e se organiza por ordem de acrescentar de acordo com a figura 19.

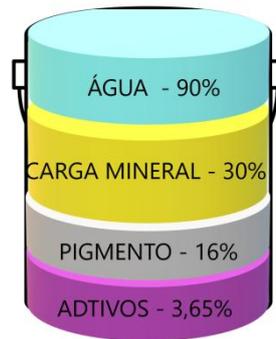
Figura 19 - Pesagem dos Materiais: (a) Pesagem de Insumos e (b) Insumos Organizados



Fonte – Autor, (2024).

Na pré-mistura e dispersão, foi utilizando a furadeira de bancada, as matérias-primas separadas foram misturadas em recipiente polimérico seguindo a sequência como mostra a figura 20 abaixo.

Figura 20 - Sequência de Dispersão



Fonte – Autor,(2024).

O Dispensor com a lamina *cowless* foi mergulhada na massa de moagem até uma determinada profundidade, de modo que se formou um “Vórtex”, que é essencial para uma boa dispersão. A figura 21 mostra o processo de formação de “Vórtex”.

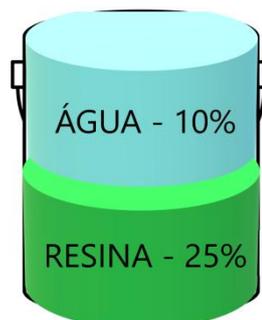
Figura 21 - Etapa de Dispersão



Fonte – Autor, (2024).

Na etapa de Completagem se adicionou o restante dos insumos seguindo a sequência da figura 22.

Figura 22 - Sequência de Completagem



Fonte – Autor, (2024).

Na completagem que se faz ajuste de tonalidade e as correções necessárias para se obter as características específicas da tinta. A figura 23 mostra o armazenamento das misturas após serem produzidas.

Figura 23 - Armazenamento das misturas após a etapa da completagem



Fonte – Autor, (2024).

3.2.4 Caracterização da Tinta Formulada

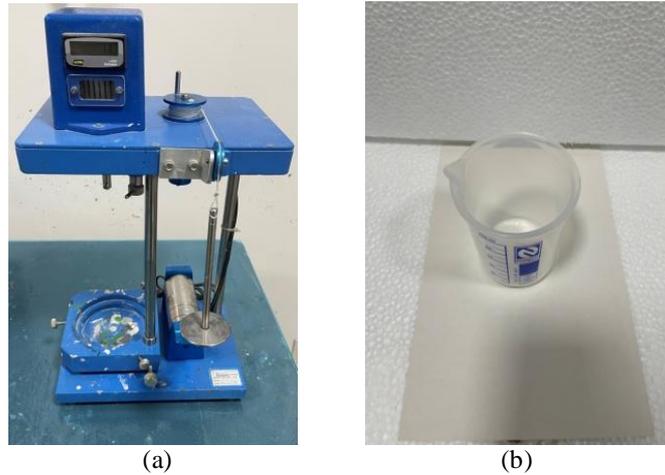
3.2.4.1 Caracterização da Tinta Fresca

As caracterizações das tintas foram feitas no estado fresco e no estado edurecido. No estado fresco foram realizados os testes de: viscosidade, pH e peso específico. A seguir serão apresentadas as especificidades, Normas e procedimentos usados em cada teste.

3.2.4.1.1 Viscosidade Stormer

O equipamento utilizado foi o viscosímetro *Stormer* da marca TKB, Becker de 250ml e Termômetro da Marca Kasvi. A figura 24 mostra os materiais e equipamentos utilizados para a realização do ensaio.

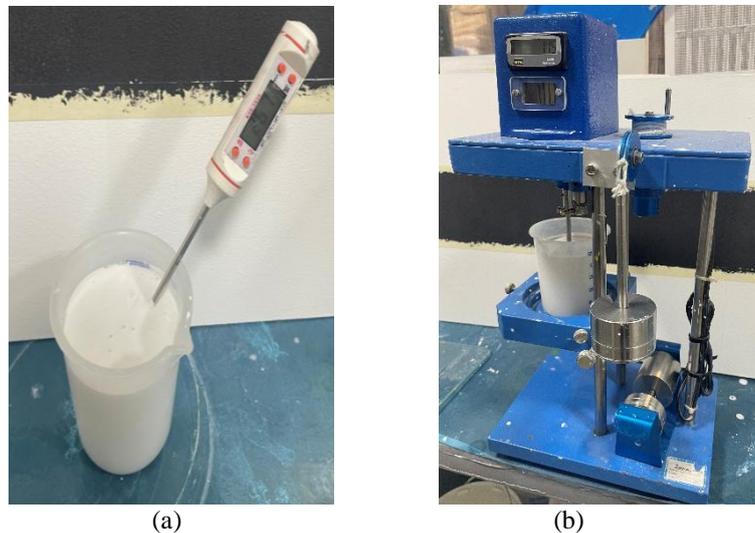
Figura 24 - Materiais e equipamentos utilizados para a realização da viscosidade: a) Viscosímetro e b) Becker de 250 ml.



Fonte – Autor, (2024).

O viscosímetro *Stormer* da marca TKB foi utilizado para determinar a consistência de tintas com um rotor do tipo pá de remo de acordo com a norma utilizando a norma ASTM D 562. Os resultados são obtidos a medida que a haste gira, o visor indica o valor da viscosidade em Krebs Units (KU), a figura 25 mostra a realização do ensaio.

Figura 25 - Determinação de viscosidade *Stormer*: (a) Aferição da temperatura em 25°C e (b) Utilização do Viscosímetro



Fonte – Autor, (2024).

3.2.4.1.2 *Peso específico*

Para a determinação do peso específico foi utilizado picnômetro de 100 ml da marca TKB Erichsen e balança analítica. A figura 26 mostra o picnômetro utilizado.

Figura 26 - Picnômetro de 100 ml da TKB.



Fonte – (Autor), 2023.

O peso específico da tinta determinada em laboratório, é a massa de um certo volume dessa tinta em um recipiente chamado de picnômetro da marca TKB Erichsen de acordo com a norma ASTM D1475-13. Pesou-se o picnômetro cheio e calculou-se a densidade da tinta utilizando a Equação 1 :

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (1)$$

Onde,

M1 = Peso do picnômetro vazio = 216,95 g;

M2 = Peso do picnômetro com a tinta (g);

V = Volume real do picnômetro = 100 cm³ ;

ρ = densidade da tinta (g/cm³).

A figura 27 mostra a realização do ensaio.

Figura 27 - Utilização do Picnômetro



Fonte – Autor, (2024).

3.2.4.2 Caracterização da Tinta endurecida

No estado endurecido foram realizados os testes de: determinação da resistência à abrasão úmida com pasta abrasiva, resistência ao intemperismo e microscopia eletrônica de varredura. A seguir serão apresentadas as especificidades, Normas e procedimentos usados em cada teste.

3.2.4.2.1 Determinação da resistência à abrasão úmida com pasta abrasiva

Para a realização do ensaio foi utilizado: máquina de lavabilidade da marca TKB modelo Speed IV. O ensaio foi realizado no laboratório de formulação de produtos da AVCO Chemicals A figura 28 mostra o equipamento utilizado pra a realização do ensaio.

Figura 28 - Máquina de lavabilidade TKB.



Fonte – Autor, (2024).

O trabalho foi realizado segundo a norma ASTM F3152-16, que relata que a resistência à abrasão úmida é a capacidade em que a película de tinta possui em resistir ao desgaste mecânico provocado por escovação com pasta abrasiva.

No mercado Nacional no ano de 2021 a ABRAFATI adotou a norma NBR 15079-1 determinando os limites mínimos dos requisitos de desempenho para tintas imobiliárias, como pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5 - Limites mínimos dos requisitos de desempenho

REQUISITOS	MÉTODO	UNIDADE	LIMITES MÍNIMOS DOS REQUISITOS DE DESEMPENHO			
			Tinta Látex Econômica	Tinta Látex standard fosca	Tinta Látex standard Premium fosca	Tinta Látex standard super Premium fosca
Resistência à abrasão úmida com pasta abrasiva	NBR 14940	CICLOS	10	40	100	200

Fonte - NBR 15079-1/2021.

3.2.4.2.2 Resistência ao Intemperismo

As tintas também foram submetidas ao intemperismo natural, após aplicação em substrato próprio, com base na metodologia da ASTM G7: 2013 adaptada, de acordo com Lopes (2018). Simulando os empregos convencionais para tinta látex, as amostras foram aplicadas em um substrato de argamassa mista, conformado em quadros de madeira de 10 cm x 15 cm x 3 cm de espessura. A argamassa mista foi produzida com cimento, água e areia, traço 1:1:6 em volume, e fixada com o auxílio de uma tela metálica. Foram aplicadas 3 demãos de cada tinta nos substratos com rolo de pintura, a figura 29-a mostra a etapa de pintura dos corpos de prova. Os quadros foram posicionados aleatoriamente em um painel fixo, orientados de forma que a película de tinta recebesse incidência máxima de radiação. Como o local do ensaio, Belém-Pa, encontra-se na latitude de 1° 27' 18" S e 48° 30' 9" O, a estrutura foi orientada para o norte com uma inclinação de 20° em relação à vertical. Os painéis também foram parcialmente cobertos para comparações e simulações entre os ambientes interno e externo, a exposição pode ser vista na figura 29-b.

O monitoramento ocorreu em um período de seis meses, para avaliação do surgimento de manifestações patológicas, com inspeções periódicas e registro fotográfico. O tempo de registro foi de 180 dias, de julho a dezembro de 2023.

A fim de analisar a adesão da tinta no substrato, fraturaram-se os corpos de prova das tintas no período de 180 dias, utilizando prensa hidráulica de 15 ton da marca BOVENAU aplicando da carga foi de 3 ton e se realizou o MEV na fratura.

Figura 29 - Resistência ao intemperismo: (a) Pintura dos corpos de prova e (b) Exposição a Intempéries.



Fonte – Autor, (2024).

3.2.5 Tratamento estatístico

Foram conduzidas análises de variância (ANOVA) nos resultados obtidos para viscosidade *Stormer*, pH, peso específico e resistência à abrasão. O teste F foi utilizado com um nível de significância de 5% para todos os testes, a fim de verificar se, para esse nível de significância, as médias populacionais dos tratamentos diferem entre si. A ANOVA utiliza os parâmetros apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros utilizados para análise de variância (ANOVA)

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	F crítico
TRATAMENTOS	SQTr	k-1	QMT	QMT/QMR	Tabela F
RESÍDUOS	SQR	k(r-1)	QMR		
TOTAL	SQT	n-1			

Fonte – Autor, (2024).

Onde:

SQ - Soma dos quadrados; GL - Número de graus de liberdade; MQ - Quadrado médio; F - Estatística F; SQTr - Soma dos quadrados dos tratamentos; k - Número de tratamentos; QMT - Quadrado médio dos tratamentos; QMR - Quadrado médio do resíduo; SQR - Soma dos quadrados do resíduo; SQT - Soma dos quadrados total; r - Número de repetições do tratamento; n - Número total de observações; n-1 - Número total de graus de liberdade.

Quando o valor do F calculado é superior ao F crítico (resultados obtidos a partir da análise de variância), podemos afirmar que há igualdade entre as médias obtidas em cada tratamento. No entanto, se houver desigualdade, é necessário recorrer a um novo método de análise: o teste TUKEY. Esse teste determina com precisão onde estão localizadas as

diferenças significativas. No caso específico, o teste TUKEY foi realizado para verificar quais tratamentos (percentuais de reforço fibroso) apresentaram diferenças significativas. Essa verificação compara pares de tratamentos usando um parâmetro mínimo chamado de diferença mínima significativa (d.m.s). O d.m.s pode ser obtido a partir da equação 2 .

$$d.m.s = q * \sqrt{\frac{QMR}{r}} \quad (2)$$

Onde:

q – Amplitude total estudentizada (valor tabelado), é obtida em função do grau de liberdade (GL) do resíduo e do número de tratamentos; QMR – Quadrado médio do resíduo; r – Número de repetições para cada tratamento. Assim, foi possível entender o comportamento dos compósitos de acordo com o percentual de reforço inserido em cada classe. O teste possibilitou identificar com exatidão onde as diferenças ocorreram.

Dessa forma, foi possível compreender o comportamento dos materiais conforme o percentual de carga variável. O teste permitiu identificar com precisão os pontos onde as diferenças ocorreram.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÕES DAS MATÉRIAS-PRIMAS

4.1.1 Absorção de Óleo (AO) e pH

A absorção de óleo e o pH foram realizados nas cargas e no pigmento utilizado nas misturas para verificar seu potencial de utilização, e os resultados podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados da caracterização das cargas minerais e do pigmento

	TiO₂	CAULIM	PCC	DOLOMITA #600
ABSORÇÃO DE ÓLEO (g DE ÓLEO/100 g)	32,33	44,66	83,66	40,00
pH	7,28	7,64	8,80	8,63

Fonte – Autor, (2024).

No que diz respeito à absorção de óleo, o PCC apresenta o valor mais alto, 83,66, enquanto o TiO₂ tem o menor, 32,33, resultados semelhantes foram obtidos nos estudos de Castro (2009). As combinações que resultam em empacotamentos mais densos são as que proporcionam os menores índices de AO. Isso resulta em formulações de tintas com menor quantidade de veículo e excelente competitividade de custos (ASSIS, 2005; COSTA, 2006). De acordo com Karakas (2012), o valor de AO tende a variar dependendo do tamanho, natureza e estrutura das cargas minerais. Quanto ao pH, observou-se uma variação de 7,28 a 8,80 em relação às cargas e ao pigmento. Todos os componentes foram identificados como alcalinos, com exceção do pigmento que apresentou comportamento neutro. Isso pode ser atribuído à presença de elementos químicos em sua composição que tendem a ser neutros. Castro (2009) afirma que, para uma mesma carga, é necessária uma característica levemente alcalina, com pH em torno de 8, para garantir maior estabilidade do material.

4.1.2 Fluorescência de Raios-X (FRX)

A Tabela 8 apresenta os resultados das análises de FRX do pigmento (TiO₂) e das cargas minerais do estudo.

Tabela 8 - Fluorescência de Raios X das cargas minerais e pigmento

Cargas	Concentração dos óxidos (%Massa)									
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	ZrO ₂	PF (%)
CAULIM	0,88	40,80	55,20	--	1,94	0,61	--	--	--	39,50
DOLOMITA	16,70	0,50	1,68	--	--	1,11	80,01	--	--	2,31
PCC	--	0,32	0,62	0,22	0,46	0,18	98,10	--	--	2,31
DIÓXIDO DE TITÂNIO	--	2,06	--	97,23	--	--	--	0,15	0,56	0,13

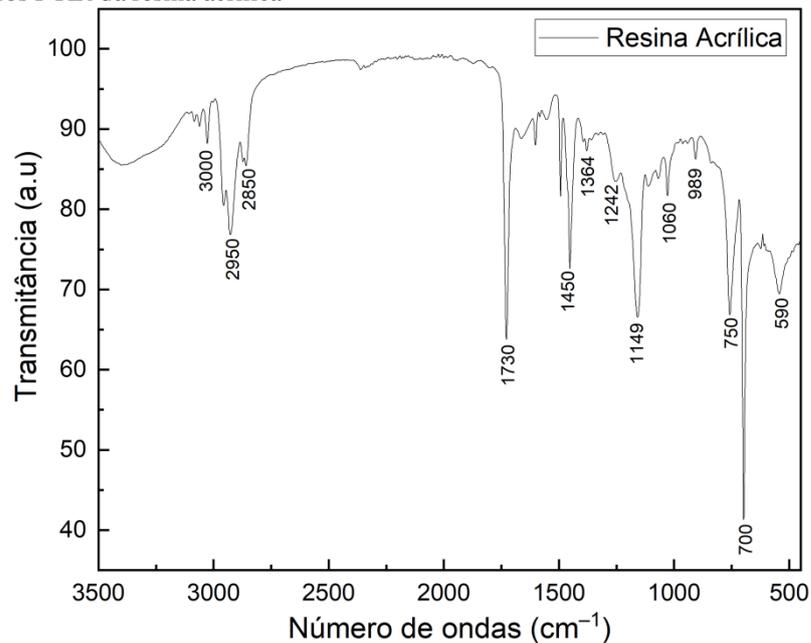
Fonte – Autor, (2024).

As amostras de caulim exibiram teores médios de SiO₂ e Al₂O₃ de 55,2% e 40,8%, respectivamente, valores que estão alinhados com os especificados por Sousa Santos (1992). A combinação das porcentagens de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ totaliza 96,608%. Contaminantes cromofóricos, como o óxido de ferro (Fe₂O₃) e o óxido de titânio (TiO₂), são indicados pela cor vermelha, que sinaliza a presença de mais ferro no mineral. As Dolomitas, compostas por carbonato de cálcio e magnésio encontrados em rochas sedimentares dolomíticas, mostraram percentuais de CaO (80,01%) e MgO (16,70%) como os mais abundantes, valores que são consistentes com os encontrados nos estudos de Santos *et al.* (2014) e Barros *et al.* (2020). O PCC, que é composto principalmente por CaO (98,10%), apresenta esse valor característico quando passa pelo processo de refino, e os valores mostrados na tabela 3 são semelhantes aos encontrados nos trabalhos de Vazquez-Rodrigues (2023). No caso do Dióxido de Titânio, que é um produto comercial, o valor do TiO₂ foi de 97,23%, valores que estão próximos aos encontrados na literatura, conforme indicado por Sena *et al.* (2019) e SS Lucas *et al.* (2013)

4.1.3 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

As principais absorções nos espectros FTIR foram realizadas na resina acrílica comercial do estudo para verificar seu potencial de uso nas misturas e comparar com a literatura. O resultado pode ser observado na figura 30.

Figura 30 - Espectros FTIR da resina acrílica



Fonte – Autor, (2024).

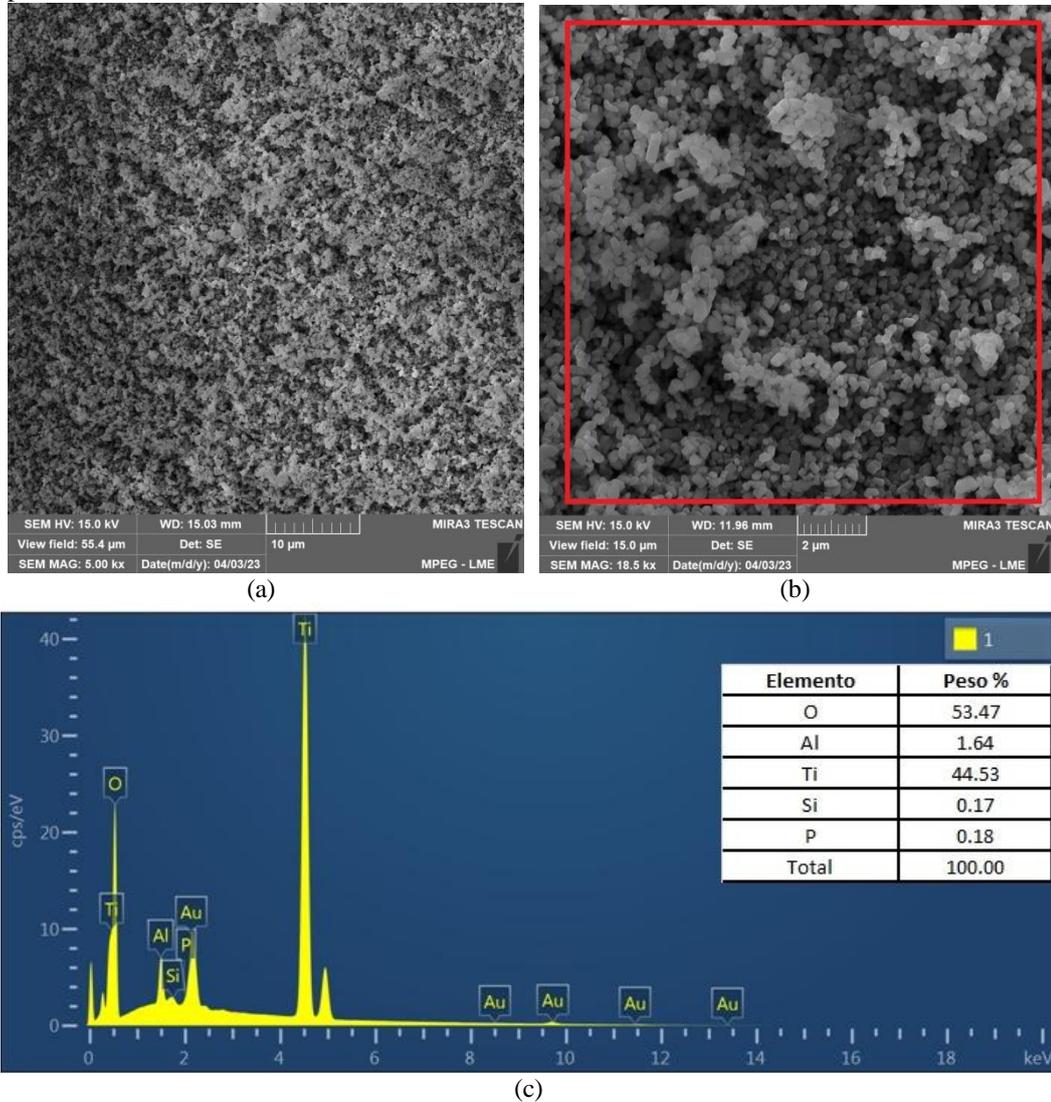
O espectro infravermelho é caracterizado por duas bandas intensas atribuídas a vibrações de estiramento do grupo carbonila ((C=O) em 1730 cm⁻¹) e do grupo éster ((CO) em 1149 cm⁻¹). Na região [3000-2850] cm⁻¹, apresenta bandas de vibração relacionadas ao estiramento (CH), enquanto a região [1485-1387] cm⁻¹ é caracterizada pelos modos de deformação da ligação (CH). O pico de baixa intensidade em 1060 cm⁻¹ é devido à vibração rotacional (balanço) de (OCH₃). A ligação CO do grupo éster exibe um modo de estiramento numa banda larga que varia de 1260-1000 cm⁻¹. As bandas correspondentes aos valores 989 e 966 cm⁻¹ referem-se às vibrações de estiramento e rotação simétrica (balanço) do grupo (CH₃) e flexão 762 e 700 cm⁻¹ do anel aromático. Observou-se que a maioria das bandas identificadas nos espectros de FTIR são confirmadas pela literatura conforme Mo Bensaid (2014) e Yoosefi *et al.* (2013).

4.1.4 Microscopia Eletrônica de Varredura das Matérias-Primas

Os Resultados a seguir mostram se existe o potencial uso das cargas minerais e do pigmento na produção de tintas imobiliárias através de sua morfologia e distribuição das partículas além da Espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) para corroborar com o FRX. A seguir serão mostradas as análises microscópicas do Caulim, Dolomita e PCC além do Dióxido de Titânio.

A análise morfológica do Pigmento Dióxido de Titânio pode ser visto na figura 31, com os aumentos de 5000X e 18.500X além da análise por EDS.

Figura 31 - Micrografias obtidas por MEV do Dióxido de Titânio: a) Aumento de 5000X, b) 18.500X e c) Análise por EDS.

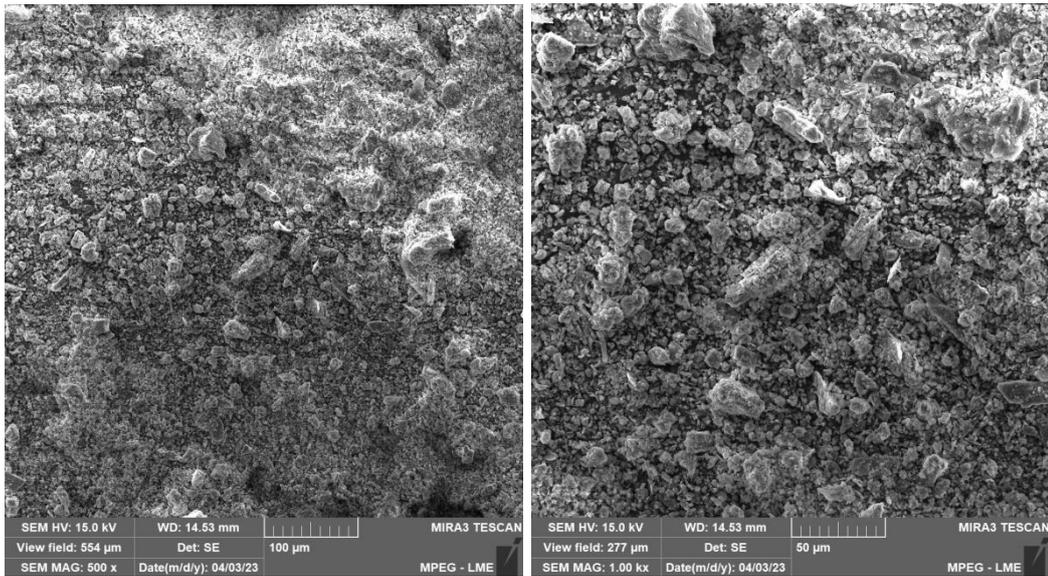


Fonte – Autor, (2024).

As imagens obtidas por MEV mostram a distribuição das partículas de Dióxido de Titânio bem como sua forma morfológica predominantemente esférica. Segundo González (2018), a capacidade de espalhar a radiação solar do óxido de Titânio é altamente influenciada por diferentes fatores incluindo a morfologia esférica da partícula. O EDS mostra os picos de Titânio e Oxigênio mais elevados, o que poderá ser confirmado com o FRX da amostra.

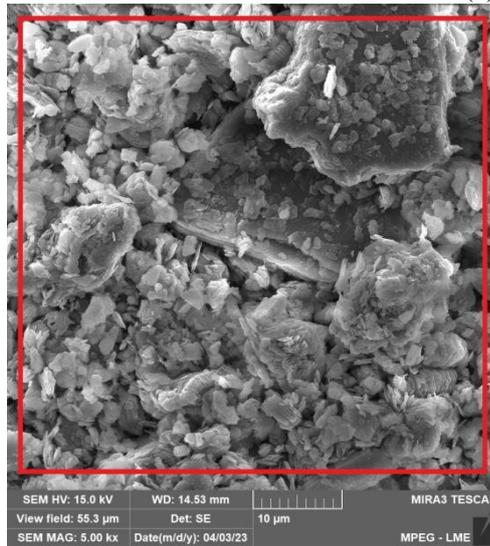
A análise morfológica da Carga mineral Caulim pode ser vista na figura 32, com os aumentos de 500X, 1000X, 5000X além da análise por EDS.

Figura 32 - Micrografias obtidas por MEV do Caulim: a) Aumento de 500X, b) 1.000X, c) 5.000X e d) Análise por EDS.

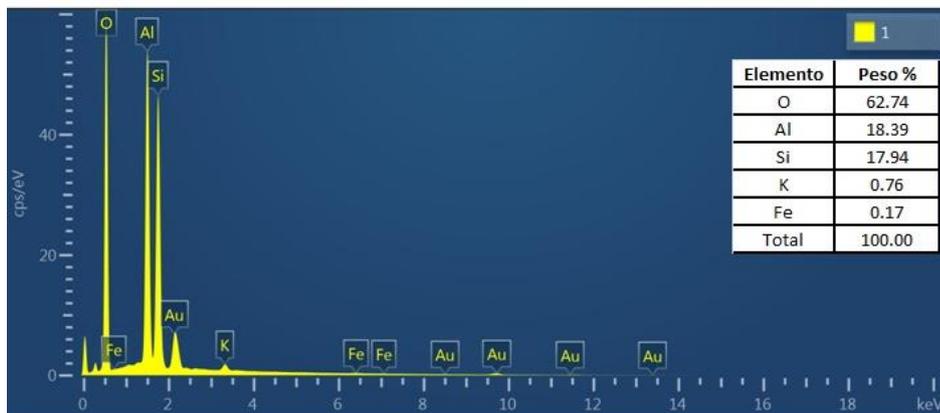


(a)

(b)



(c)



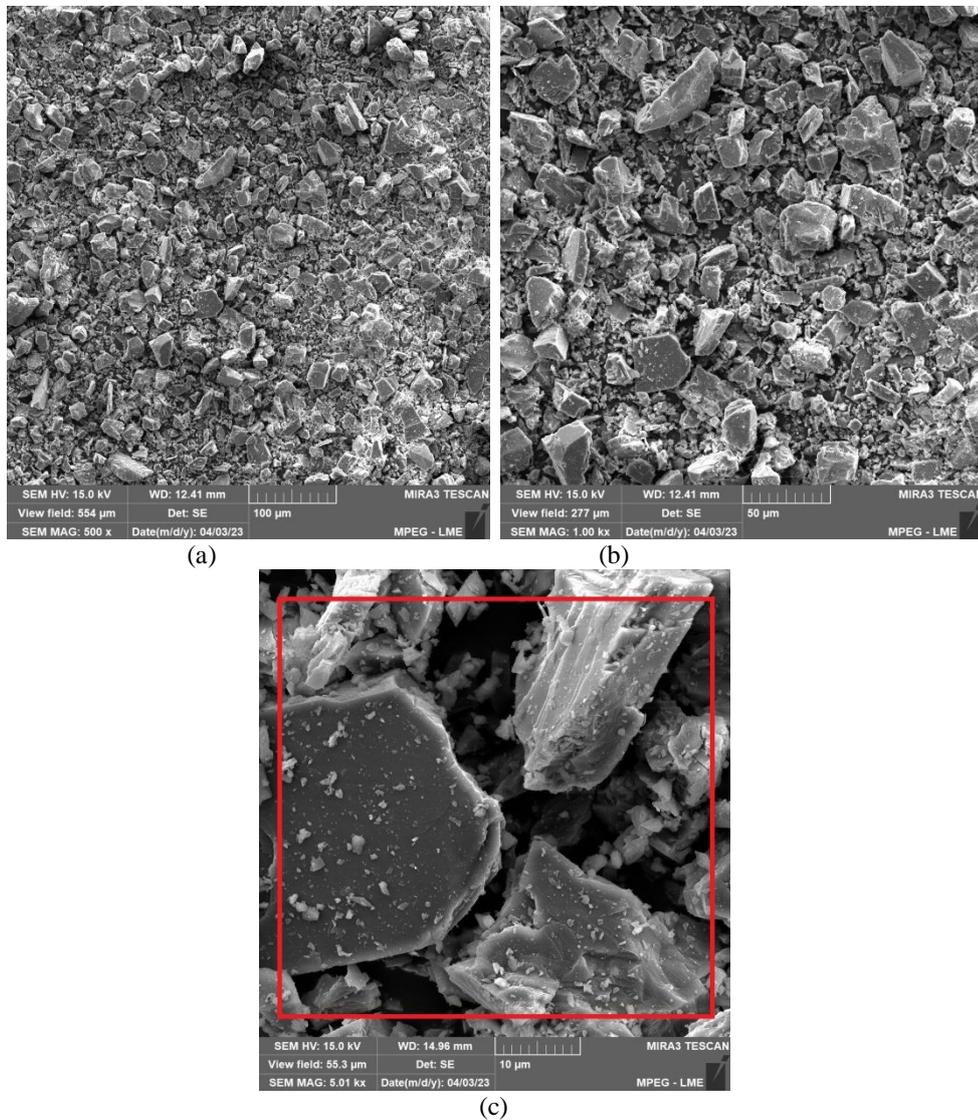
(d)

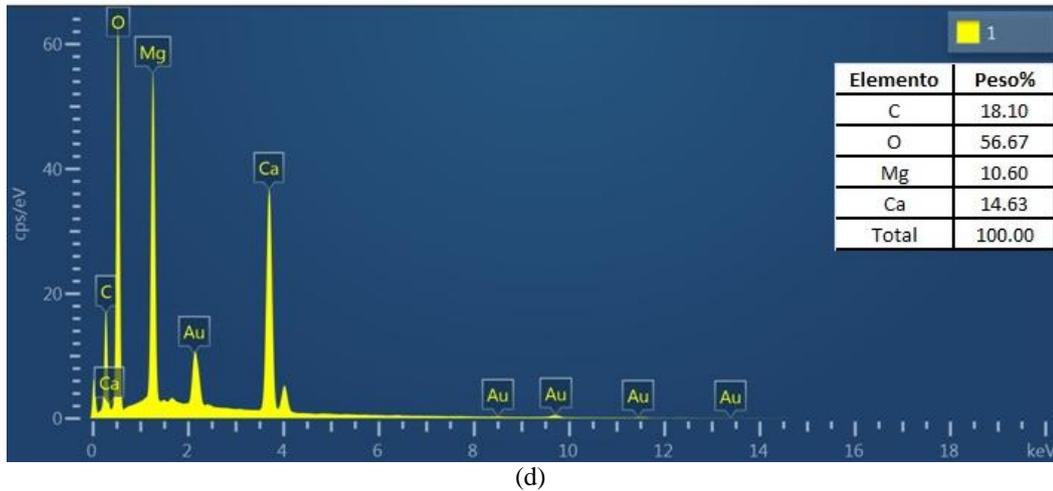
Fonte – Autor, (2024)

As imagens obtidas por MEV mostram a distribuição das partículas de Caulim, bem como sua morfologia lamelar. Segundo Rothon (2002), a estrutura em lamelas apresenta uma melhora aplicabilidade da tinta, bem como na sua textura, na resistência ao lixamento e em propriedades de barreira e selagem. O EDS mostra os picos de Silício, Alumínio e Oxigênio mais elevados, característico do material e justificado com o FRX da amostra mencionado anteriormente.

A análise morfológica da Carga mineral Dolomita pode ser vista na figura 33, com os aumentos de 500X, 1000X, 5000X além da análise por EDS.

Figura 33 - Micrografias obtidas por MEV da Dolomita: a) Aumento de 500X, b) 1.000X, c) 5.000X e d) Análise por EDS.



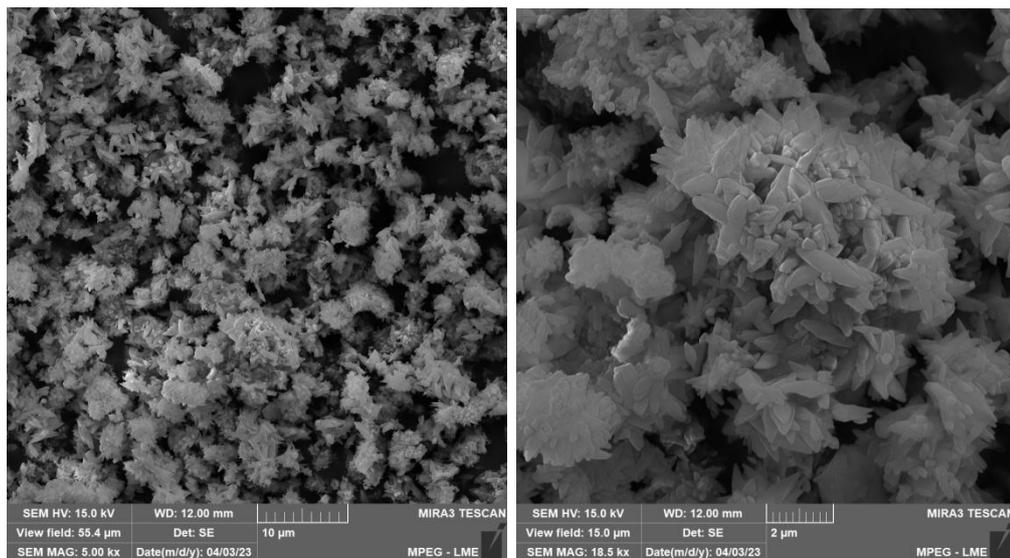


Fonte – Autor, (2024).

As imagens obtidas por MEV mostram a distribuição das partículas de Dolomita bem como sua forma morfológica nodular. Segundo Silva (2023), a forma nodular da dolomita não impacta nas propriedades de cobertura, porém sua utilização é para resistência a abrasão e lavabilidade. O EDS mostra os picos de Cálcio, Magnésio, Oxigênio e Carbono mais elevados, o que poderá ser confirmado com os óxidos no FRX da amostra.

A análise morfológica da Carga mineral Carbonato de Cálcio Precipitado pode ser vista na figura 34, com os aumentos de 5000X e 18.500X.

Figura 34 - Micrografias obtidas por MEV do Carbonato de Cálcio Precipitado : a) Aumento de 5000X e b) 18.500X



(a)

(b)

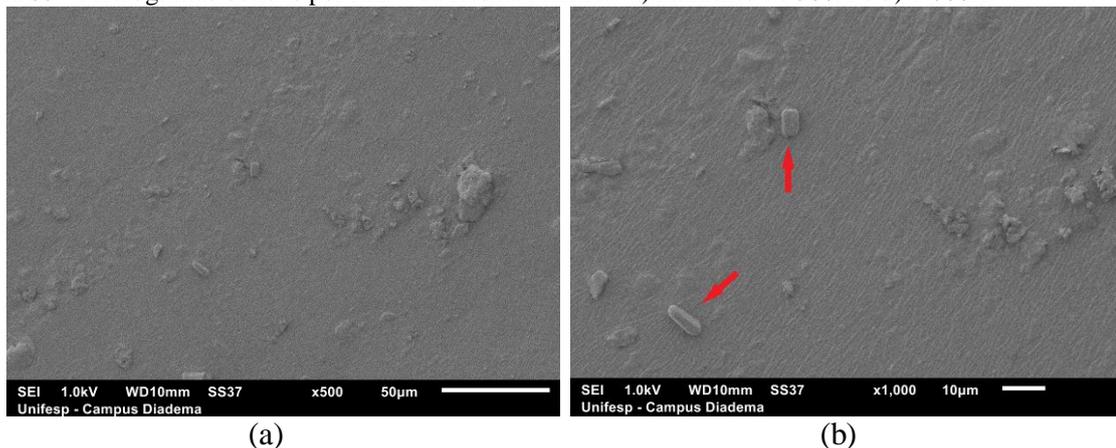
Fonte- Autor, (2024).

As imagens obtidas por MEV mostram a distribuição das partículas de Carbonato de Cálcio Precipitado bem como sua forma morfológica escalenoédrica, resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Oliveira (2005). Segundo Oliveira (2009), esta forma chamada escalenoédrica por não possuir faces formadas parece ser a mais adequada, atualmente, para as empresas produtoras de tintas, devido à abrasividade, alvura e opacidade.

O Resultado a seguir mostra se existe o potencial uso da resina acrílica comercial na produção de tintas imobiliárias através da análise da sua superfície depois de seca. Observando pontos de fissura, cristalização e regiões densas.

A análise morfológica da resina acrílica comercial pode ser vista na figura 35, com os aumentos de 500X e 1000X.

Figura 35 - Micrografias obtidas por MEV da Resina Acrílica: a) Aumento de 500X e b) 1.000X



Fonte- Autor, (2024).

As imagens obtidas por MEV mostra a morfologia da resina acrílica de forma densa, sem apresentar fissuras. Trata-se de um polímero semicristalino, pois segundo Marques, Souza & Esperandio (2010), parte das cadeias poliméricas organizam-se e se formam cristais (Setas Vermelhas), isso comparado aos polímeros amorfos que não tem nenhum grau de ordenação em suas cadeias.

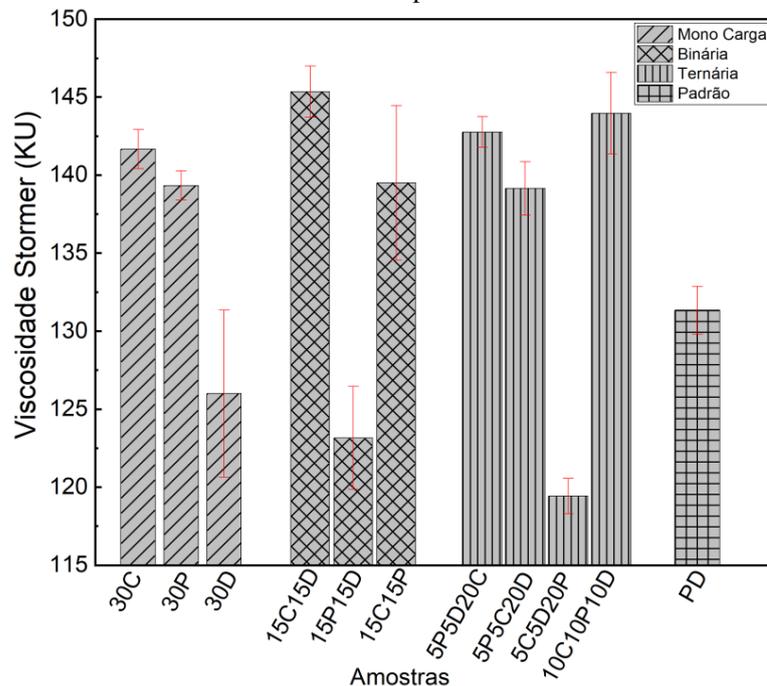
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA TINTA FORMULADA

4.2.1 Viscosidade *Stormer*, Peso Específico e pH

Os resultados de Viscosidade *Stormer*, Peso Específico e pH das misturas podem ser observados nas figuras 36,37 e 38 respectivamente.

A figura 36 apresenta o gráfico de viscosidade *Stormer* das misturas e do padrão estudado.

Figura 36 - Gráfico da viscosidade *Stormer* das misturas e padrão



Fonte- Autor, (2024).

Na análise das formulações com uma única carga, foi verificado que a viscosidade do Caulim é superior à do PCC e da Dolomita. Ao examinar as amostras binárias, notou-se que a inclusão de Caulim nas proporções analisadas resulta em um aumento de cerca de 0,7%, enquanto a inclusão de PCC diminui o valor em aproximadamente 0,47% em relação as amostras binárias. As amostras ternárias confirmam que a viscosidade aumenta com a proporção de Caulim, e tende a diminuir com o aumento das proporções de Dolomita e PCC. Em comparação com o padrão estabelecido, a viscosidade das amostras estudadas é predominantemente maior, o que pode estar relacionado à quantidade de espessante em produção e às suas propriedades hidrofílicas que alteram a reologia da mistura, conforme indicado por Dumitru *et al.* (2011) e Machado *et al.* (2022).

Foi realizada análise de variância (ANOVA) a fim de verificar se houve diferença significativa entre as médias de Viscosidade *Stormer*. A análise de variância (ANOVA) está apresentada na tabela 9.

Tabela 9 - ANOVA da Viscosidade *Stormer* das formulações

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	1525,515	10	152,5515	8,561565	0,00002	2,296696
Dentro dos grupos	392	22	17,81818			
Total	1917,515	32				

Fonte- Autor, (2024).

A análise de variância (ANOVA) apresentada na tabela 9 revela valores estatísticos: o F calculado estimado em 8,561565 e o F crítico estimado em 2,296696. Com o F calculado superior ao F crítico, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Esse resultado indica que os percentuais de cargas têm efeitos distintos na Viscosidade *Stormer* das formulações.

Com base nesse resultado, realizou-se o teste de TUKEY com um nível de segurança de 5%. Esse teste permite comparar as médias e identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados. A tabela 10 apresenta os resultados do teste de TUKEY.

Tabela 10 - Teste de Tukey para Viscosidade *Stormer* das Formulações

Mono Carga	30C	30P	30D	15C15D	15P15D	15C15P	5P5D20C	5P5C20D	5C5D20P	10C10P10D	PD
30C	0,000	1,000	0,006	1,000	0,888	1,000	1,000	0,947	0,000	1,000	0,186
30P	0,957	0,000	0,027	0,995	0,998	1,000	1,000	1,000	0,001	1,000	0,512
30D	6,428	5,471	0,000	0,003	0,156	0,009	0,017	0,108	0,888	0,009	0,847
15C15D	0,410	1,368	6,839	0,000	0,747	1,000	0,999	0,847	0,000	1,000	0,108
15P15D	2,188	1,231	4,240	2,599	0,000	0,947	0,990	1,000	0,006	0,947	0,947
15C15P	0,274	0,684	6,155	0,684	1,915	0,000	1,000	0,981	0,000	1,000	0,258
5P5D20C	0,684	0,274	5,745	1,094	1,505	0,410	0,000	0,998	0,001	1,000	0,399
5P5C20D	1,915	0,957	4,514	2,325	0,274	1,641	1,231	0,000	0,004	0,981	0,888
5C5D20P	8,617	7,659	2,188	9,027	6,428	8,343	7,933	6,702	0,000	0,000	0,108
10C10P10D	0,274	0,684	6,155	0,684	1,915	0,000	0,410	1,641	8,343	0,000	0,258
PD	4,103	3,146	2,325	4,514	1,915	3,830	3,419	2,188	4,514	3,830	0,000

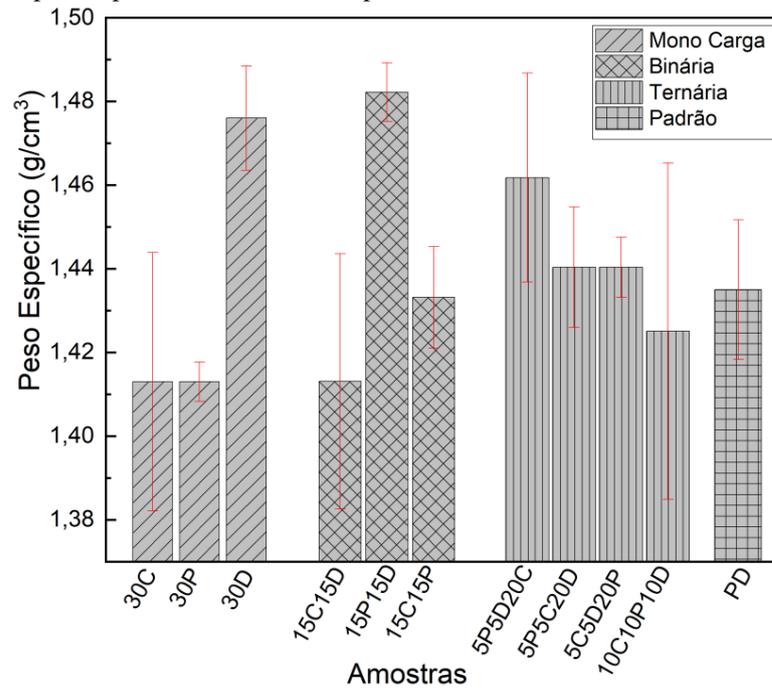
Fonte- Autor, (2024).

Ao analisar os dados da tabela 10, podemos constatar que a diferença entre as médias identificada pela ANOVA é influenciada pela presença das cargas de Caulim e PCC. Isso

ocorre porque as formulações com percentuais elevados dessas cargas apresentam valores superiores ao d.m.s. encontrado.

A figura 37 apresenta o gráfico de peso específico das misturas e o padrão estudado

Figura 37 - Gráfico de peso específico das misturas e padrão



Fonte- Autor, (2024).

Em formulações com uma única carga, foi observado que a Dolomita tem um peso específico maior em comparação ao PCC e ao Caulim. A análise das amostras binárias revelou que a adição de Dolomita ao Caulim resulta em misturas de menor densidade, com uma redução aproximada de 2,12%, enquanto a adição de PCC não causa uma alteração significativa em relação as amostras binárias. Outra análise binária mostrou que a adição de Dolomita em misturas com PCC tende a resultar em uma tinta mais densa, com um aumento de cerca de 4,45% em comparação as amostras binárias. As amostras ternárias confirmam que a adição de Dolomita à formulação tende a aumentar a densidade do material, enquanto a adição de Caulim reduz o peso específico e a adição de PCC não causa uma alteração significativa. Ao comparar as formulações com o padrão, observa-se um equilíbrio nas formulações, muitas vezes associado à quantidade de carga e ao peso específico da carga. As tintas imobiliárias têm um peso específico médio de 1,27-140,0 g/cm³, de acordo com os estudos de Dumitru *et al.* (2011) e Ivanicivc *et al.* (2021).

Foi realizada análise de variância (ANOVA) afim de verificar se houve diferença significativa entre as médias de Peso específico. A análise de variância (ANOVA) está apresentada na tabela 11.

Tabela 11 - ANOVA de Peso Específico das formulações

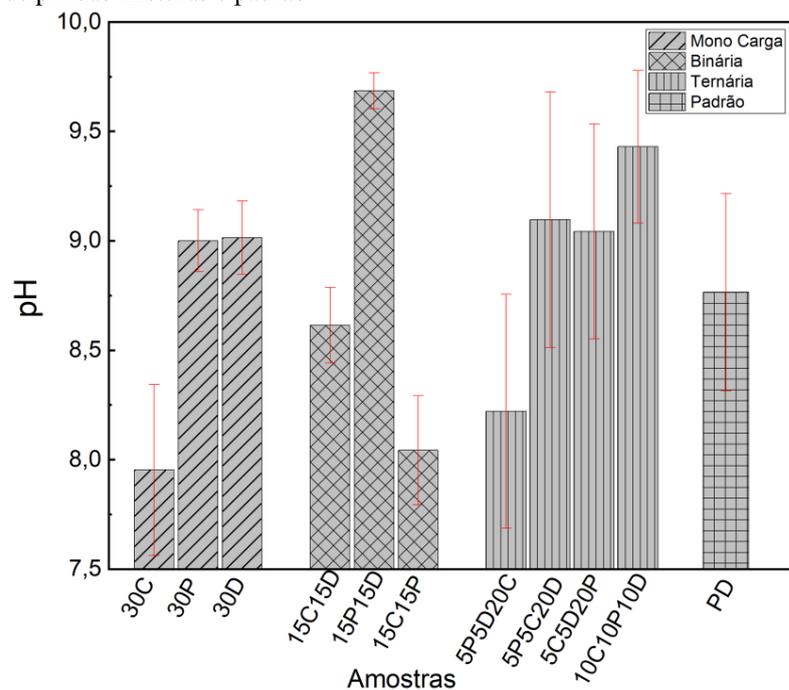
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	0,022867	10	0,002287	1,754884	0,130472	2,296696
Dentro dos grupos	0,028667	22	0,001303			
Total	0,051533	32				

Fonte- Autor, (2024).

A análise de variância (ANOVA) apresentada na tabela 11 revela valores estatísticos: o F calculado estimado em 1,75484 e o F crítico estimado em 2,296696. Com o F calculado inferior ao F crítico, foi constatado que para um nível de significância de 5 %, não há diferença significativa para o Peso específico das formulações.

A figura 38 apresenta o gráfico de pH das misturas e do padrão estudado

Figura 38 - Gráfico de pH das misturas e padrão



Fonte- Autor, (2024).

Em formulações com uma única carga, foi observado que o pH da Dolomita e do PCC são notavelmente semelhantes e alcalinos, enquanto o pH do Caulim é mais baixo e

ligeiramente alcalino. A análise das amostras binárias e ternárias revelou que a inclusão de Caulim leva a uma diminuição do pH, e as formulações sem Caulim apresentam um pH alcalino entre 9 e 9,5 quando comparados as amostras mono carga, binárias e ternárias. Este fato é corroborado pelo pH das cargas, como indicado na tabela 2, e os resultados estão em linha com Vaziri *et al.* (2013) e Karakas (2015). Ao comparar as formulações com o padrão, verificou-se que a maioria das misturas é mais alcalina que o padrão. A alcalinidade de uma tinta pode ser influenciada pelo tipo de carga, e o impacto que a alcalinidade tem no produto está principalmente relacionado à conservação e proteção contra fungos e bactérias, conforme indicado por Moura (2023).

Foi realizada análise de variância (ANOVA) a fim de verificar se houve diferença significativa entre as médias de pH. A análise de variância (ANOVA) está apresentada na tabela 12.

Tabela 12 - ANOVA de pH das formulações

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	3,836958	10	0,383696	6,634856	0,000111	2,296696
Dentro dos grupos	1,272267	22	0,05783			
Total	5,109224	32				

Fonte- Autor, (2024).

A análise de variância (ANOVA) apresentada na tabela 12 revela valores estatísticos: o F calculado estimado em 6,634856 e o F crítico estimado em 2,296696. Com o F calculado superior ao F crítico, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Esse resultado indica que os percentuais de cargas têm efeitos distintos no pH das formulações.

Com base nesse resultado, realizou-se o teste de TUKEY com um nível de segurança de 5%. Esse teste permite comparar as médias e identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados. A tabela 13 apresenta os resultados do teste de TUKEY.

Tabela 13 - Teste de Tukey para pH das Formulações

	30C	30P	30D	15C15D	15P15D	15C15P	5P5D20C	5P5C20D	5C5D20P	10C10P10D	PD
30C	0,000	0,001	0,001	0,174	0,000	0,000	0,041	0,004	0,002	0,001	0,002
30P	7,539	0,000	1,000	0,413	0,928	1,000	0,838	1,000	1,000	1,000	1,000
30D	7,635	0,096	0,000	0,375	0,946	1,000	0,805	1,000	1,000	1,000	1,000
15C15D	4,153	3,385	3,481	0,000	0,030	0,136	1,000	0,769	0,628	0,523	0,617
15P15D	9,555	2,017	1,921	5,402	0,000	0,999	0,132	0,638	0,778	0,861	0,787
15C15P	8,499	0,960	0,864	4,346	1,056	0,000	0,442	0,964	0,992	0,998	0,993
5P5D20C	5,186	2,353	2,449	1,032	4,370	3,313	0,000	0,989	0,958	0,913	0,954
5P5C20D	6,698	0,840	0,936	2,545	2,857	1,801	1,513	0,000	1,000	1,000	1,000
5C5D20P	7,034	0,504	0,600	2,881	2,521	1,465	1,849	0,336	0,000	1,000	1,000
10C10P10D	7,275	0,264	0,360	3,121	2,281	1,224	2,089	0,576	0,240	0,000	1,000
PD	7,058	0,480	0,576	2,905	2,497	1,440	1,873	0,360	0,024	0,216	0,000

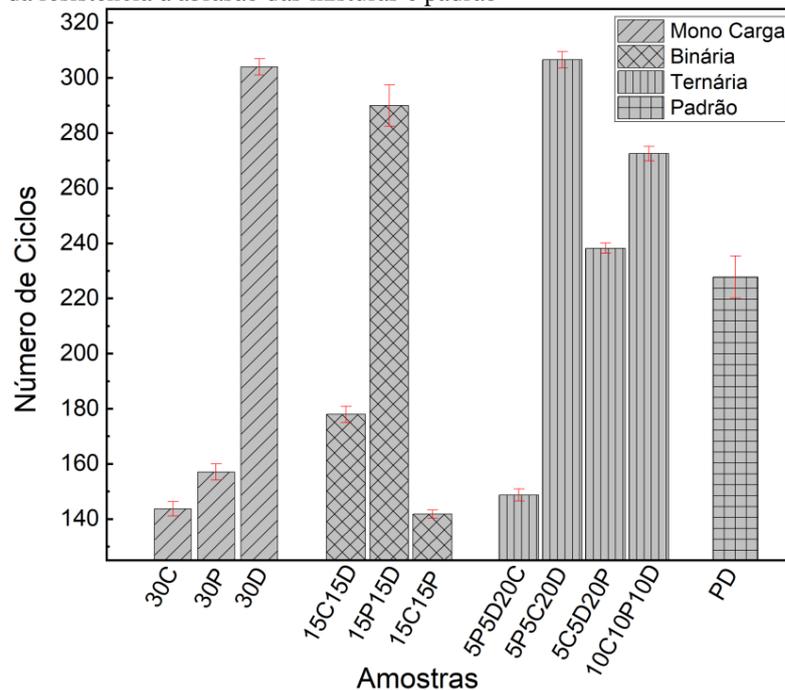
Fonte- Autor, (2024).

Ao analisar os dados da tabela 13, podemos constatar que a diferença entre as médias identificada pela ANOVA é influenciada pela presença da carga mineral Caulim. Isso ocorre porque as formulações com percentuais elevados dessa carga apresentam valores superiores ao d.m.s. encontrado.

4.2.2 Determinação da resistência à abrasão úmida com pasta abrasiva

Os resultados da Determinação da Resistência à Abrasão Úmida com Pasta Abrasiva podem ser observados na figura 39, onde está traçado o gráfico das misturas e do padrão estudado.

Figura 39 - Gráfico da resistência à abrasão das misturas e padrão



Fonte- Autor, (2024).

Em tintas de carga única, é perceptível que a Dolomita exhibe os maiores valores de resistência à abrasão, cerca de 300 ciclos, enquanto o Caulim e o PCC apresentam aproximadamente 140 e 155 ciclos, respectivamente. Esses altos valores para a Dolomita podem ser atribuídos à sua formação geológica e à morfologia nodular de suas partículas, conforme Bartholi (1998). É notável que o Caulim tende a enfraquecer o filme, pois nas misturas binárias, a adição de Caulim à Dolomita resultou em uma redução de 41,6% no número de ciclos, e a adição de Caulim ao PCC resultou em uma redução de 12,9%. Isso ocorre devido à sua morfologia lamelar, que diminui o coeficiente de atrito, conforme Bartholi (1998). A mesma observação se aplica às misturas ternárias: quanto mais Caulim, mais frágil se torna a tinta. Em comparação com o padrão estabelecido, cerca de 50% das misturas são superiores, e é possível usar mais de uma mistura como formulação, dependendo da aplicação.

A resistência à abrasão mostrou que as formulações 30 D, 15P15D, 5P5C20D, 5C5D20P e 10C10P10D estão superiores a norma NBR 15079-1/2021 com 307, 290, 239, 308 e 278.

Foi realizada análise de variância (ANOVA) a fim de verificar se houve diferença significativa entre as médias de resistência abrasão úmida. A análise de variância (ANOVA) está apresentada na tabela 14.

Tabela 14 - ANOVA da resistência abrasão úmida das formulações

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	137018,1	10	13701,81	17,79876	2,55E-08	2,296696
Dentro dos grupos	16936	22	769,8182			
Total	153954,1	32				

Fonte- Autor, (2024).

A análise de variância (ANOVA) apresentada na tabela 14 revela valores estatísticos: o F calculado estimado em 17,79876 e o F crítico estimado em 2,296696. Com o F calculado superior ao F crítico, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Esse resultado indica que os percentuais de cargas têm efeitos distintos na resistência abrasão úmida das formulações.

Com base nesse resultado, realizou-se o teste de TUKEY com um nível de segurança de 5%. Esse teste permite comparar as médias e identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados. A tabela 15 apresenta os resultados do teste de TUKEY.

Tabela 15 - Teste de Tukey para resistência abrasão úmida das Formulações

	30C	30P	30D	15C15D	15P15D	15C15P	5P5D20C	5P5C20D	5C5D20P	10C10P10D	PD
30C	0,000	0,968	0,000	0,039	0,000	0,951	0,999	0,003	0,066	0,001	1,000
30P	1,769	0,000	0,000	0,386	0,000	1,000	0,605	0,041	0,532	0,023	0,795
30D	10,070	8,303	0,000	0,068	1,000	0,000	0,000	0,523	0,040	0,686	0,000
15C15D	5,223	3,454	4,848	0,000	0,024	0,435	0,006	0,973	1,000	0,910	0,013
15P15D	10,760	8,989	0,687	5,535	0,000	0,000	0,000	0,264	0,014	0,394	0,000
15C15P	1,894	0,125	8,178	3,329	8,865	0,000	0,550	0,050	0,586	0,028	0,746
5P5D20C	1,165	2,934	11,240	6,388	11,920	3,059	0,000	0,000	0,011	0,000	1,000
5P5C20D	6,950	5,181	3,121	1,727	3,808	5,057	8,115	0,000	0,914	1,000	0,001
5C5D20P	4,869	3,100	5,202	0,354	5,889	2,976	6,035	2,081	0,000	0,802	0,023
10C10P10D	7,325	5,556	2,747	2,102	3,433	5,431	8,490	0,375	2,455	0,000	0,000
PD	0,708	2,476	10,780	5,930	11,470	2,601	0,458	7,658	5,577	8,032	0,000

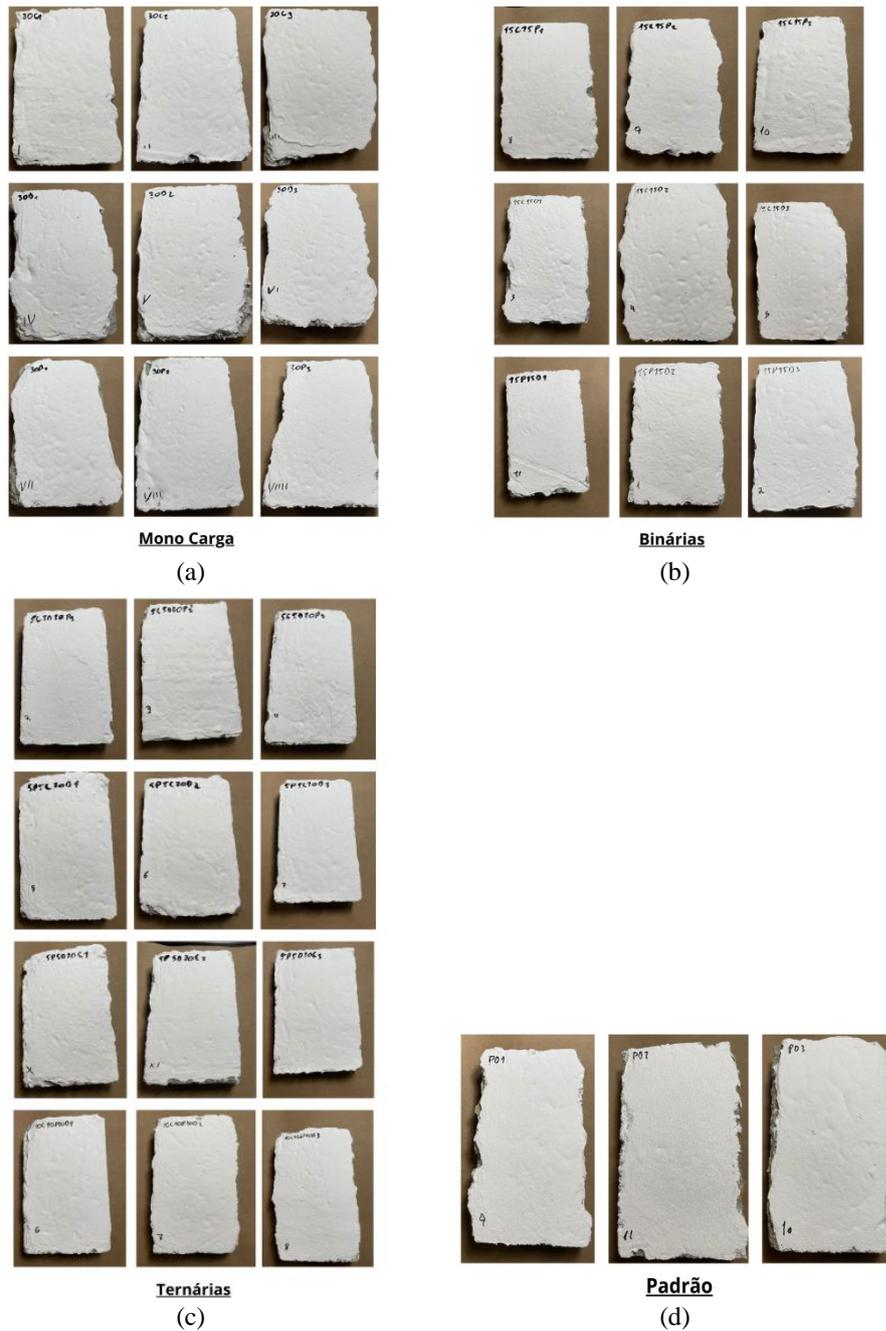
Fonte- Autor, (2024).

Ao analisar os dados da tabela 15, podemos constatar que a diferença entre as médias identificada pela ANOVA é influenciada pela presença da carga mineral Dolomita. Isso ocorre porque as formulações com percentuais elevados dessa carga apresentam valores superiores ao d.m.s. encontrado.

4.2.3 Resistência às Intempéries

Os resultados de Resistência ao Intemperismo são apresentados na figura 40, das amostras após 180 dias de exposição às ações de intemperismo.

Figura 40 - Amostras após 180 dias de exposição climática: a) Mono Carga, b) Binária, c) Ternária e d) Padrão



Fonte- Autor, (2024).

Depois de expostas por 180 dias, as amostras foram examinadas visualmente e não apresentaram patologias como amarelecimento, fungos e algas. Para que comecem a surgir

amostras patológicas, o pH da mistura precisa diminuir devido ao intemperismo. Os agentes biocidas se fixam no filme, mas só são ativos em pH alcalino. Como a Figura 8 indica que as misturas tiveram resultados de pH acima de 7,9, a tendência é que seja necessário mais tempo até que o pH diminua, conforme indicado por Rocha *et al.* (2009).

4.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura após Resistência ao Intemperismo

As figuras 41, 42, 43 e 44 mostram as imagens da análise microestrutural e morfológica de como ficaram as misturas 15P15D, 5C5P20D, 10C10P10D e o padrão analisado após 180 dias de exposição às condições climáticas da região Amazônica.

Figura 41 - MEV da mistura 15P15D: a) Superfície a 1,00 Kx, b) Superfície a 5,00 Kx e c) Adesão de Concreto e Tinta a 1,00 Kx. As setas indicam os poros e a linha indica a aderência entre a tinta e o concreto.

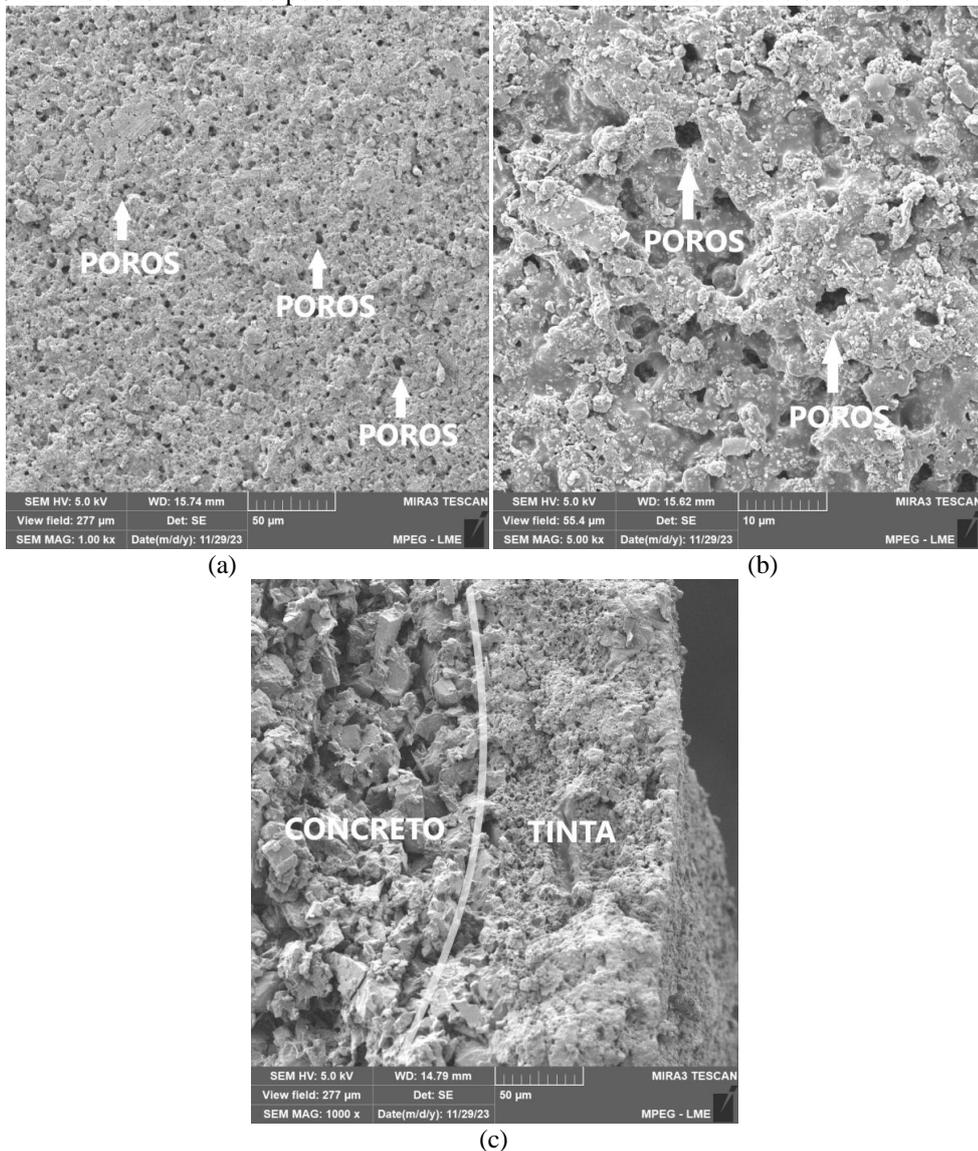
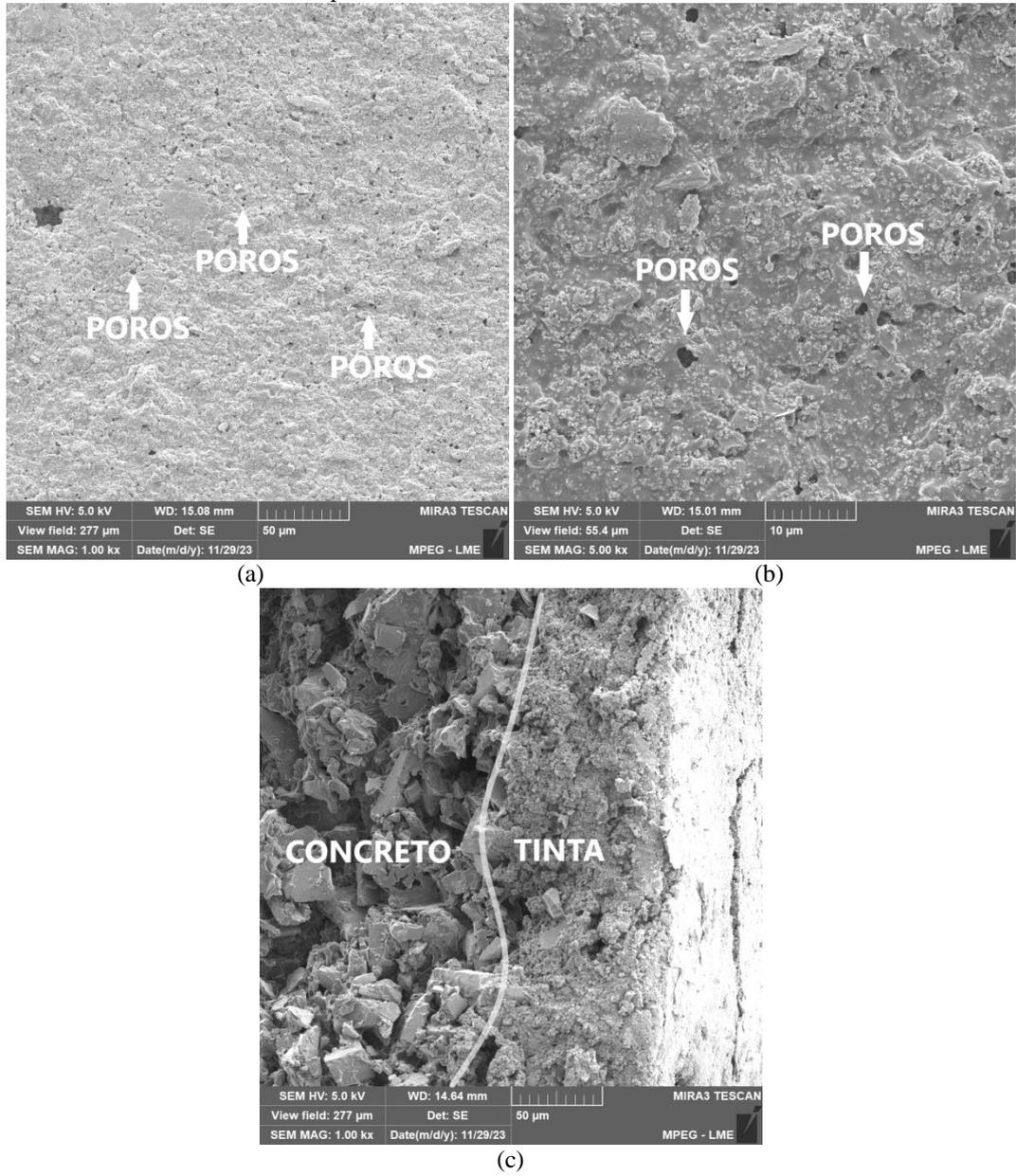
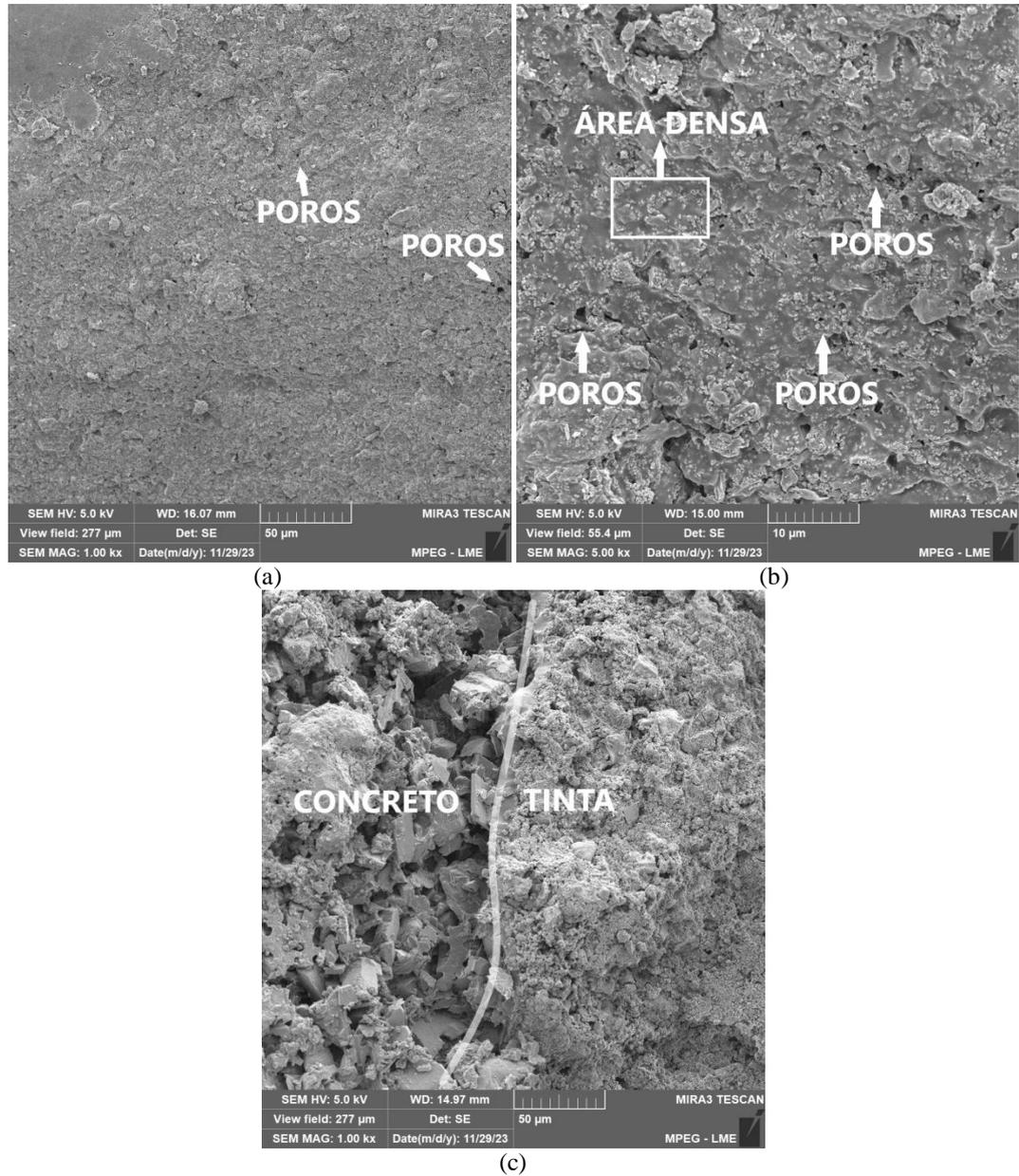


Figura 42 - MEV da mistura 5C5P20D: a) Superfície a 1,00 Kx, b) Superfície a 5,00 Kx e c) Adesão de Concreto e Tinta a 1,00 Kx. As setas indicam os poros e a linha indica a aderência entre a tinta e o concreto.



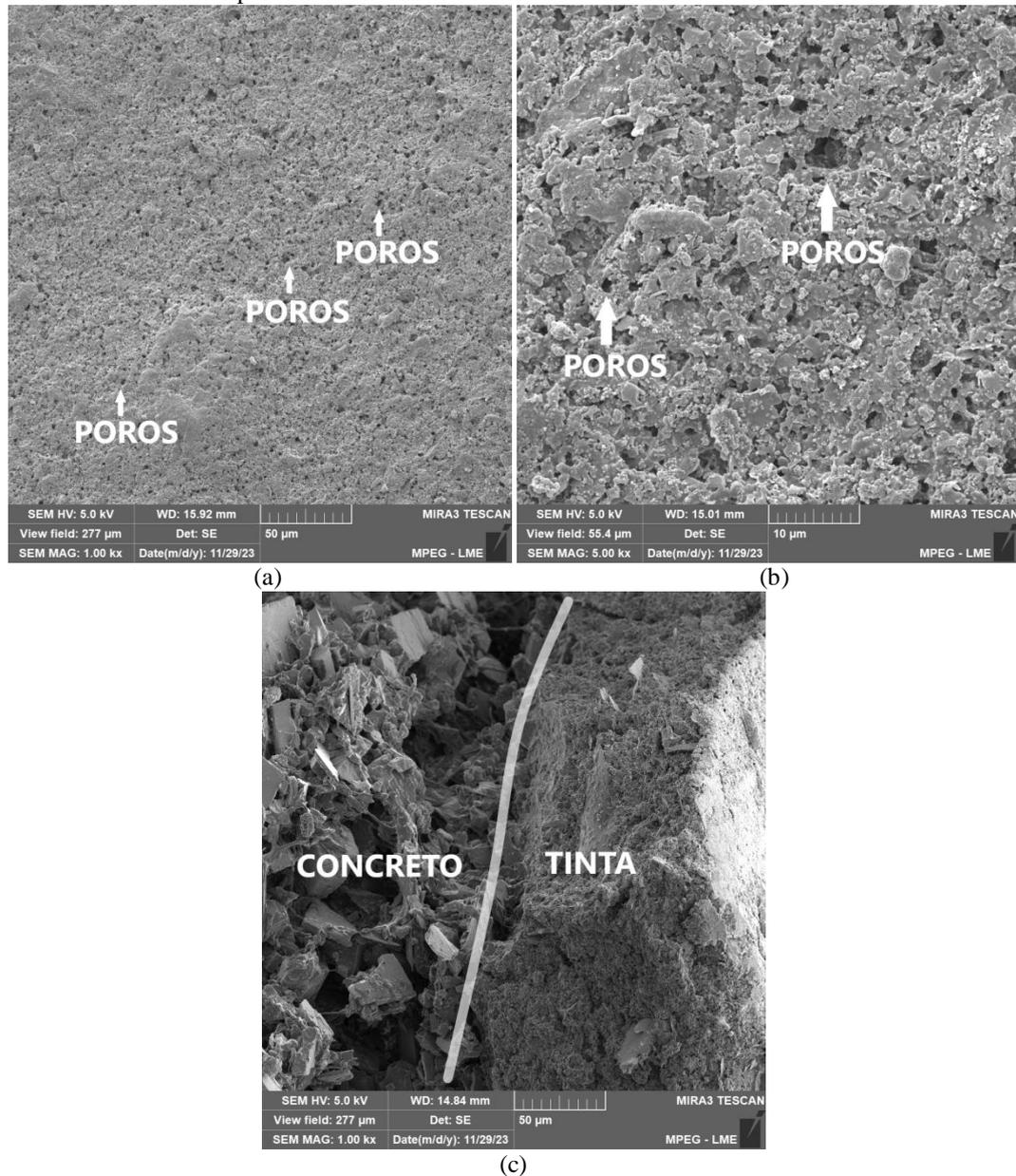
Fonte- Autor, (2024).

Figura 43 - MEV da mistura 10C10P10D: a) Superfície a 1,00 Kx, b) Superfície a 5,00 Kx, e c) Adesão de Concreto e Tinta a 1,00 Kx. As setas indicam os poros, a área retangular são as regiões densas e a linha indica a aderência entre tinta e concreto.



Fonte- Autor, (2024).

Figura 44 - MEV Padrão: a) Superfície a 1,00 Kx, b) Superfície a 5,00 Kx, e c) Adesão de Concreto e Tinta a 1,00 Kx. As setas indicam os poros e a linha indica a aderência entre tinta e concreto.



Fonte- Autor, (2024).

Na mistura binária 15P15D e na ternária 5C5P20D, a presença de poros é evidente tanto nas Figuras 41-a e 42-a quanto nas Figuras 41-b e 42-b. As Figuras 41-c e 42-c ilustram a linha de adesão entre a matriz e o substrato, destacando a boa aderência da tinta ao concreto. Na mistura ternária 10C10P10D, além dos poros visíveis nas Figuras 43-a e 43-b, há regiões mais densas onde as cargas se compactaram melhor com a resina. Esta mistura também mostra uma boa aderência da tinta ao concreto, como demonstrado na Figura 43-c. O aumento na quantidade de cargas mais densas na matriz da tinta contribui para a formação de vazios (OLIVEIRA, 2005). Quando a quantidade de resina é insuficiente para cobrir todas as partículas de pigmento, ocorre uma aglomeração que leva ao surgimento de poros. Estes poros

permitem a entrada de água e outros agentes que podem comprometer a resistência do filme (CASTRO, 2009).

Os resultados alcançados com as formulações sugeridas foram positivos e estão em conformidade com as expectativas baseadas na literatura. Os resultados de resistência à abrasão são notáveis, onde as formulações 15P15D, 5P5C20D, 5C5D20P e 10C10P10D demonstram potencial para uso em diversas aplicações, conforme a norma NBR 15079-1/2021. Assim, a mistura binária 15P15D é adequada para ambientes internos e externos. As misturas ternárias 5P5C20D, 5C5D20P e 10C10P10D são indicadas para diferentes aplicações: como revestimento de pisos, revestimento de paredes (internas e externas) e para revestimento de pisos e paredes em ambientes internos e externos, respectivamente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de produzir uma tinta imobiliária resistente às intempéries para a região amazônica. Com base nos resultados dos testes experimentais, pode-se concluir:

- O estudo examinou a absorção de óleo pelo PCC e Dióxido de Titânio, observando que as combinações mais densas resultaram em menores índices de absorção. A variação do pH foi de 7,28 a 8,80, com todos os materiais sendo alcalinos, exceto o pigmento que foi neutro. A análise de FRX validou a consistência dos percentuais de óxidos com os dados da literatura, com óxidos cromofóricos abaixo de 2%. A FTIR detectou picos característicos de resinas acrílicas na Resina acrílica. A MEV demonstrou uma boa distribuição granulométrica e morfologia das partículas em Cargas minerais e pigmento, além de revelar a formação de cristais na resina acrílica após a cura;
- As misturas apresentaram resultados satisfatórios para Viscosidade *Stormer*, notou-se que a inclusão de Caulim nas proporções analisadas resulta em um aumento de cerca de 0,7%, enquanto a inclusão de PCC diminui o valor em aproximadamente 0,47%;
- As misturas apresentaram resultados satisfatórios para o peso específico, com adição de Dolomita à formulação tende a aumentar a densidade do material, enquanto a adição de Caulim reduz o peso específico e a adição de PCC não causa uma alteração significativa;
- As misturas apresentaram resultados satisfatórios para o pH, amostras binárias e ternárias revelou que a inclusão de Caulim leva a uma diminuição do pH, e as formulações sem Caulim apresentam um pH alcalino entre 9 e 9,5.
- A resistência à abrasão mostrou que as formulações 15P15D, 5P5C20D, 5C5D20P e 10C10P10D têm potencial de utilização em diferentes aplicações, de acordo com a norma NBR 15079-1/2021 com 290 ciclos, 239 ciclos, 308 ciclos e 278 ciclos, notou-se que o Caulim tende a enfraquecer o filme enquanto a dolomita tende a aumentar a resistência a abrasão;
- As formulações mostraram resistência às intempéries após 180 dias de exposição, pois não apresentaram nenhum tipo de patologia em sua superfície;
- Pode-se notar que as misturas 15P15D, 5P5C20D, 5C5D20P e 10C10P10D apresentaram porosidade e boa homogeneidade sem aparecer inclusões ou trincas.

Após analisar a interface entre tinta e concreto, pode-se concluir que existe boa ancoragem da matriz no substrato;

- Para concluir o estudo, a mistura binária 15P15D é adequada para uso tanto em ambientes internos quanto externos. As misturas ternárias 5P5C20D, 5C5D20P e 10C10P10D são recomendadas para diferentes aplicações: como revestimento de pisos, revestimento de paredes (internas e externas) e para revestimento de pisos e paredes em ambientes internos e externos respectivamente.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, fazem-se necessárias algumas sugestões para trabalhos futuros como:

- Avaliar o poder de cobertura das tintas formuladas;
- Analisar a formação de fungos e bactérias nas tintas formuladas quando expostas em meios de culturas;
- Verificar a degradação das tintas quando expostas em câmaras de ultravioleta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AALTO-KORTE, K. **RESINAS ACRÍLICAS**. 2020. IN: JOHN, S., JOHANSEN, J., RUSTEMEYER, T., ELSNER, P., MAIBACH, H. (EDS) **DERMATOLOGIA OCUPACIONAL DE KANERVA**. SPRINGER, CHAM. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-319-68617-2_50](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68617-2_50)
- ABRAFITI. **O setor de tintas no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://abrafati.com.br/sector-de-tintas-no-brasil/>. Acesso em: 30/03/2023.
- ABRAFITI. **Dados do Setor de Tintas**. 2023. Disponível em: <https://abrafati.com.br/sector-de-tintas/dados-do-setor/> . Acesso em: 30/03/2023.
- ABREU, N.M.S. **Avaliação do impacto do uso de nanofibras de celulose no desempenho de tintas imobiliárias**. 2022. Dissertação (Mestrado em Inovação na Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. doi:10.11606/D.3.2022.tde-06042023-104118. Acesso em: 2024-01-18.
- AMORIM S. M. **Desenvolvimento de tintas fotocatalíticas com estabilidade aumentada utilizando fotocatalisadores à base de microesferas de dióxido de titânio**. 2017. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017
- ASSIS, Wilson A. de; ALMEIDA, Gerson de. Pigmentos Inorgânicos. In: FAZENDA, Jorge M. R. (Coord). **Tintas & Vernizes Ciência e Tecnologia**. 2005. 3ª Ed. São Paulo: Edgard Blücher, p. 339-364.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15079-1: tintas para construção civil: requisitos mínimos de desempenho: parte 1: tintas látex fosca nas cores claras**. Rio de Janeiro, 2019c.
- ASTM D281-12. **Standard Test Method for Oil Absorption of Pigments by Spatula Rub-out**. 2021.
- ASTM D1208-96. **Standard Test Methods for Common Properties of Certain Pigments**. 2019.
- ASTM D562-10. **Standard Test Method for Consistency of Paints Measuring the Viscosity of the Krebs Unit (KU) Using a Stormer-Type Viscometer**. 2023.
- ASTM D1475-13. **Standard Test Method for Density of Liquid Coatings, Inks, and Related Products**. 2020.
- ASTM F3152-16 . **Standard Test Method for Determining the Abrasion Resistance of Paints and Coatings on Substrates Using Dry or Wet Abrasive Medium**. 2023.
- ASTM G7-05. **Standard Practice For Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials**. 2005.

BAIJ, L., HERMANS, J., ORMSBY, B. ET AL. **Uma revisão da ação do solvente na tinta a óleo.** *Herit Sci* 8 , 43 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00388-x>

BARBOSA, JULIANO MARTINS. **Influência da incorporação de negro de fumo e carbonato de cálcio micro e nanoparticulado nas propriedades reológicas, colorimétricas e mecânicas de filmes de polietileno de baixa densidade.** 2021. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/16924>.

BARROS, FJS, CECÍLIA, JA, MORENO-TOST, R. ET AL. **Oligomerização de glicerol utilizando catalisador dolomita de baixo custo.** *Valor de Resíduos de Biomassa* 11, 1499–1512 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0477-5> .

BARRIOS, S. **Manual Descomplicado de Tecnologia de Tintas: um guia rápido e prático para formulação de tintas e emulsões.** São Paulo: Blucher, 2017. 228 p.

BARTOTHOLI, J. C. **Guia prático sobre cargas minerais e suas aplicações em tintas.** *Tintas e vernizes*, Agosto/Setembro.1998. 52-55p.

BHAVSAR, RA, SARDESAI, A. **Investigação do efeito do tipo de pigmento/extensor na estabilidade de tintas arquitetônicas à base de água com alta concentração de volume de pigmento.** *J Coat Technol Res* 19 , 919–930 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11998-021-00568-9>

BI, Y., PEI, J., CHEN, Z. ET AL. **Preparação e caracterização de tinta luminescente para marcação rodoviária.** *Internacional J. Pavimento Res. Tecnologia.* 14 , 252–258 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0229-3>

CASTRO, Carmen Dias. **Estudo da influência das propriedades de diferentes cargas minerais no poder de cobertura de um filme de tinta.** 2009, 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

COSTA, Ana Cristina F. Melo et al. **Síntese e caracterização de nanopartículas de TiO₂.** *Cerâmica*, v. 52, n. 324, p. 255, 2006.

CHRISTIE, R. & ABEL, A. **Organic pigments: general principles.** 2021. *Physical Sciences Reviews*, 6(12), 807-834. <https://doi.org/10.1515/psr-2020-0187>

DA SILVA, LARISSA F. ET AL. **Tratamento de efluentes de fabricação de tintas por métodos de coagulação/eletroquímicos: propostas para descarte e/ou reaproveitamento de água tratada.** *Pesquisa hídrica* , v. 101, pág. 467-475, 2016.

DE ALMEIDA, KM, VIDAL, FWH, & CASTRO, NF. **Uso sustentável de resíduos de caulim do Seridó na formulação de concreto.** 2023. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA* , 21 (12), 23995–24010. <https://doi.org/10.55905/oelv21n12-030>

DILLON, C. E., LAGALANTE, A. F., & WOLBERS, R. C.. **Acrylic emulsion paint films: The effect of solution pH, conductivity, and ionic strength on film swelling and**

- surfactant removal.** 2014. *Studies in Conservation*, 59(1), 52–62. <http://www.jstor.org/stable/42751845>
- DIETRICH, R. **Quality control of paint production.** 2021. In *Paint Analysis: 2nd Revised Edition* (pp. 124-139). Hannover, Germany: Vincentz Network. <https://doi.org/10.1515/9783748604358-014>
- DUARTE, A.P. **Sustentabilidade na Indústria das tintas em Portugal.** In: **Indústria: Revista de Empresários e Negócios**, 2021, nº 129, Suplemento Economia Portuguesa: Sustentabilidade, Ambiente, Descarbonização, p. 10.
- DUMITRU, PETRUTA E JITARU, IOANA. **O impacto dos modificadores de reologia na viscosidade de tintas decorativas à base de água após o tingimento.** 2011. Boletim Científico UPB , Série B: Química e Ciência dos Materiais. 73.
- ELEY, R. R. **Applied rheology and architectural coating performance.** *Journal of Coatings Technology and Research* , v. 16, n. 2, p. 263-305, 2019.
- FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. Cap. 1. p. 4-9.
- FAZENDA, J.M.R. **Tintas: Ciência e Tecnologia.** 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas Imobiliárias de Qualidade: livro de rótulos da ABRAFATI.** 3 ed. São Paulo: Editora Blücher, 2012. 772 p.
- FATEMEH F, Elaheh K. Goharshadi, Navid Ramezani, Masoomeh Mehraban Sangatash, Marjan Moghayed. **Antimicrobial waterborne acrylic paint by the additive of graphene nanosheets/silver nanocomposite.** *Materials Chemistry and Physics*. Volume 297. 2023. 127355,ISSN 0254-0584. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.127355>.
- GANNA, JOSIAH & THOMAS, GUMA. **Gloss Evaluation of Autobody Paint Finishes by Some Enterprises in Kaduna Metropolis, Nigeria.** 2020. *International Journal of Engineering Science*. 7. 1-9. 10.14445/23497157/IJRES-V7I6P101.
- GONZÁLEZ, VICTORIA & ZAPATA TELLO, DIANA & VALLEJO, JAVIER & NUÑEZ, RAMÓN & GONZALEZ-CALDERON, J.A. & PÉREZ, ELÍAS & IGUEZ, VICTORIA & ZAPATA-TELLO, LIZETH & B, RAM & GONZALEZ-CALDERON, AMIR & A, EL. **Improving titanium dioxide dispersion in water through surface functionalization by a dicarboxylic acid.** 2018. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 10.1080/01932691.2018.1496828
- GUERRA, FERNANDA L. ET AL. **Biodeterioração de revestimentos de argamassa em edifícios históricos: Caracterização microclimática, material e comunidade fúngica.** *Construção e Meio Ambiente* , v. 155, p. 195-209, 2019.
- GUPTA. S, C.P. SINGH, & K. KUMAR. **A gloss of Four Common Wood Coatings Measured Before and After their Exposure to High Humidity.** *Brazilian Journal of Wood Science*, 7(2) , (2016) 94-99.

GUPTA S , PUTTAIAHGOWDA YM , NAGARAJA A , JALAGERI MD . **Tintas poliméricas antimicrobianas: uma revisão atualizada** . *Tecnologia Polym Adv* . 2021 ; 32 (12) : 4642 - 4662 . doi: 10.1002/pat.5485

HAMIZAH, A.S , A.R. RASHITA, S. MALEK, **Characterization and evaluation of dolomite and kaolin as filler on the properties of poly art marble**, *Materials Today: Proceedings*, Volume 29, Part 1, 2020, Pages 173-178, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.542>.

HASAN H. LATIF, BHASKARAN GOPALAKRISHNAN, ASHISH NIMBARTE, KENNETH CURRIE, **Sustainability index development for manufacturing industry, Sustainable Energy Technologies and Assessments**, Volume 24, 2017, Pages 82-95, ISSN 2213-1388, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.01.010>.

HILLEN, U., BAUER, A. **Tintas e Lacas**. 2020. In: Johansen, J., Mahler, V., Lepoittevin, JP., Frosch, P. (eds) *Dermatite de contato*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72451-5_78-1

IFIJEN, IH, MALIKI, M., ODIACHI, IJ *ET AL*. **Revisão sobre resinas alquídicas à base de solventes e resinas alquídicas à base de água: impactos da modificação em suas propriedades de revestimento**. *Química África* 5 , 211–225 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00318-3>

IHS MARKIT. **Paint and Coatings Industry Overview**. In: *Chemical Economics Handbook*, Junho de 2022. Disponível em: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/ci/products/paint-and-coatings-industry-chemical-economics-handbook.html>. Acessado em: 05/04/2023.

IVANICIUC, LILIANA & SUTIMAN, DANIEL & CIOCINTA, RAMONA & FAVIER, LIDIA & SENDREA, GEORGIANA & CIOBANU, GABRIELA & HARJA, MARIA. **Recuperação avançada de resíduos de carbonato de cálcio como enchimento em tintas à base de água**. 2021. *Revista de Engenharia e Gestão Ambiental*. 20. 569-577. 10.30638/eemj. 2021.055.

JAVADI, ALI . **Handbook of Waterborne Coatings**. 2020. // *Commercial waterborne coatings*. , (), 303–344. doi:10.1016/B978-0-12-814201-1.00012-3

KARAKAŞ, MS ÇELIK. **Efeito da quantidade e distribuição de tamanho da carga de calcita na qualidade de tintas à base de água**. *Progresso em Revestimentos Orgânicos*. Volume 74, Edição 3, 2012, páginas 555-563, ISSN 0300-9440, <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.02.002> .

KARAKAŞ, F. BEHZAD VAZIRI HASSAS, MEHMET S. ÇELIK. **Efeito das adições de carbonato de cálcio precipitado em tintas à base de água em diferentes concentrações de volume de pigmento**, *Progress in Organic Coatings*, Volume 83, 2015, Páginas 64-70, ISSN 0300-9440, <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.02.003>

KASUMBA A. BUYONDO, HILLARY KASEDDE, JOHN B. KIRABIRA, **A COMPREHENSIVE REVIEW ON KAOLIN AS PIGMENT FOR PAINT AND COATING: RECENT TRENDS OF CHEMICAL-BASED PAINTS, THEIR ENVIRONMENTAL IMPACTS AND REGULATION**,

CASE STUDIES IN CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING, VOLUME 6, 2022, 100244, ISSN 2666-0164, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CSCEE.2022.100244](https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100244).

KASUMBA A. BUYONDO, HILLARY KASEDDE, JOHN B. KIRABIRA, OCIDENT BONGOMIN, **Characterization and treatment effects on Mutaka kaolin for additive in coatings: Mineral composition, thermal and structural modifications**, Heliyon, Volume 10, Issue 1, 2024, e24238, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24238>.

KLOCHKOV, YS, TVERYAKOV, AM . **Abordagens para a melhoria dos métodos de gestão da qualidade**. *Int J Syst Assur Eng Manag* 11 (Suplemento 2), 163–172 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00939-x>

KYEI, SK, EKE, WI, DARKO, G. *ET AL*. **Resinas poli-hidroxi naturais em revestimentos de superfície: uma revisão**. *J Coat Technol Res* 19 , 775–794 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11998-021-00604-8>

LEE, H.-H. E LI, C. **Gestão da Qualidade de Fornecedores: Investimento, Inspeção e Incentivos**. 2018. *Prod Opera Manag*, 27: 304-322. <https://doi.org/10.1111/poms.12802>

LION, STUART B.; BINGHAM, R.; MILLS, DOUGLAS J. **Avanços na proteção contra corrosão por revestimentos orgânicos: O que sabemos e o que gostaríamos de saber**. *Progresso em Revestimentos Orgânicos* , v. 102, p. 2-7, 2017.

MACIEL, CARLOS A. **ENSAIOS DE INTEMPERISMO ACELERADOS**. Portal TS, 2021. Disponível em: <https://www.portalts.com.br/ensaios-de-intemperismo-acelerados>. Acesso em: 05/05/2023.

MACHADO, A.M.L , NORBERTO, C.C, FILHO, F. E. D. **Estudo comparativo entre os parâmetros reológicos de tintas acrílicas arquitetônicas**. *Ambiente. construção* .2022. Vol. 22(1): 223-240. DOI: [HTTPS://10.1590/s1678-86212022000100589](https://10.1590/s1678-86212022000100589)

MAN CHING CHEN, PEI WEN KOH, VINOTH KUMAR PONNUSAMY, SIEW LING LEE, **TITANIUM DIOXIDE AND OTHER NANOMATERIALS BASED ANTIMICROBIAL ADDITIVES IN FUNCTIONAL PAINTS AND COATINGS: REVIEW**, *PROGRESS IN ORGANIC COATINGS*, VOLUME 163, 2022, 106660, ISSN 0300-9440, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.PORGCOAT.2021.106660](https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106660).

MALAKI, MASSOUD & FADAEI TEHRANI, ALIREZA & HASHEMZADEH, YASSER. **Abrasion resistance of acrylic polyurethane coatings reinforced by nano-silica**. 2018. *Progress in Organic Coatings*. 125. 507-515. 10.1016/j.porgcoat.2018.07.034.

MARQUES, F. D., SOUZA, F. G. & ESPERANDIO, G. O. **Síntese e caracterização de resinas alquídicas: Efeito da presença de água em rota sintética sem uso de solvente e catalisador**. 2010. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química.

MATSUMOTO, N. M. **Desenvolvimento do método multivariado acelerado para a determinação do prazo de validade de tintas unindo quimiometria, cinética química e colorimetria**. 2022. 1 recurso online (192 p.) Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/4111>. Acesso em: 28 jan. 2024.

MICHELOTTI, M. A. M. **Síntese, caracterização e potencial uso como agente antifúngico de nanopartículas de dióxido de titânio.** 2019. 36f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 2019.

MO BENSAID, L. GHALOUCI, S. HIADSI, F. LAKHDARI, N. BENHARRATS, G. VERGOTEN, **Investigação de mecânica molecular de alguns polímeros acrílicos usando campo de força.** SPASIBA , Espectroscopia Vibracional, Volume 74, 2014, Páginas 20-32 , ISSN 0924-2031, <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2014.07.001> .

MORDOR INTELLIGENCE. **Mercado de tintas e revestimentos - crescimento, tendências, impacto do covid-19 e previsões (2023 - 2028).** 2022. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/paints-and-coatings-market>. Acessado em: 30/03/2023.

MORENO, RENAN PAULA RAMOS. **Estudo sobre a incorporação de produtos nocivos ao ambiente no fabrico de tintas.** 2017. Tese de Doutorado. Instituto Politecnico do Porto (Portugal).

MOURA, H C V . PEDROTI, L G LOPES, M M S E CARVALHO, J M F RIBEIRO, J C L DIAS, J C B, **Influência de Aditivos Biocidas e Dispersantes no Desempenho e Durabilidade de tintas para construção produzidas com resíduos de granito.**(2023) Disponível em SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4511548> ou <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4511548>

BELLOTTI, N Cecilia Deyá, Chapter 7 - **Waterborne functional paints to control biodeterioration**, Editor(s): Peter Zarras, Mark D. Soucek, Atul Tiwari, Handbook of Waterborne Coatings, Elsevier, 2020, Pages 155-179, ISBN 9780128142011, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814201-1.00007-X>

NASCIMENTO, FC, MUNHOZ, PM, NASCIMENTO, LFN, & CALVO, WAP. **Desenvolvimento de uma tinta de emulsão acrílica adicionada de dispersão celulósica tratada com acelerador de feixe de elétrons.** 2023. Revista Brasileira de Ciências da Radiação , 11 (3), 1–18. <https://doi.org/10.15392/2319-0612.2023.2291>

NAZARI, MH, ZHANG, Y., MAHMOODI, A., XU, G., YU, J., WU, J., & SHI, X. **Revestimentos orgânicos nanocompósitos para proteção contra corrosão de metais: uma revisão dos avanços recentes.** 2022. Progresso em Revestimentos Orgânicos , 162 , 106573.

OLIVEIRA, F.V. **Processamento de Carbonato de Cálcio para aplicação nas indústrias de papel e de plástico.** Minas Gerais, 2005. 63p. Dissertação (Mestre em Engenharia Metalúrgica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais.

OLIVEIRA, A. F. **Equilíbrio em Solução Aquosa Orientados à Aplicação: sistemas ácido-base de Bronsted e outros equilíbrios.** Campinas: Editora Átomo, 2009.

ONYENEKENWA, E. **A guide for the paint maker.** 2016.

OLIVEIRA, M.; MANIASSO, N. . **O Estudo da Importância das Resinas em Tintas Automotivas Base Água:** . Revista Brasileira de Processos Químicos, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 2 - 25, 2023. Disponível em: <https://www.fateccampinas.com.br/rbpq/index.php/rbpq/article/view/26>. Acesso em: 8 mar. 2024.

ORJIAKOR, PI; EZE, CN; OBAYOMI, DA. **Biocinética da Biodegradação de Tintas de Base Acrílica.** 2020.

PANDEY, PADMINI & KIRAN, UV. **Analysis of Nanoparticles and Inorganic Components in Commercial Paints through X-ray Powder Diffraction Techniques.** 2023. 855-874.

PERUCHI, ALINE BARTOSIAK RODRIGUES; ZUCHINALI, FILIPE FREITAS; BERNARDIN, ADRIANO MICHAEL. **Desenvolvimento de tinta acrílica à base de água com resistência à eflorescência e método de teste para determinação do aparecimento de manchas.** Revista de engenharia de construção , v. 35, p. 102005, 2021.

PINTO, M. V. D. C. **Estudo comparativo de tintas de interior e exterior.** 2021. Dissertação Submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química. Instituto Superior de Engenharia do Porto Departamento de Engenharia Química.

PREUSS, N. L. **Efeito dos aspectos morfológicos do timento TiO₂ nas propriedades óticas de tintas base água.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Engenharias de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre, 2016.

REVPROL. **Dicas para proteger as paredes da exposição do sol e da chuva.** 2021. Disponível em: <https://www.revprol.com.br/blog/dicas-para-protoger-paredes-da-exposicao-do-sol-e-da-chuva/>. Acessado em: 04/04/2023.

REY R., JOSE ANTONIO COBANO, MARCO CORZETTO, LUIS MERINO, PAULO ALVITO, FERNANDO CABALLERO, **A novel robot co-worker system for paint factories without the need of existing robotic infrastructure,** Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 70, 2021, 102122, ISSN 0736-5845, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102122>.

ROCHA, AN; KAIRALLA, RB; FERRACIOLI, AC; FILHO, CA. **Aditivos.** In: FAZENDA, JMR (Org.). Tintas: Ciência e tecnologia. São Paulo: Editora Blucher, 2009. Cap. 12, pág. 496-547.

RONALD G. LARSON, ANTONY K. VAN DYK, TIRTHA CHATTERJEE, VALERIY V. GINZBURG, **Associative thickeners for waterborne paints: Structure, characterization, rheology, and modeling,** Progress in Polymer Science, Volume 129, 2022, 101546, ISSN 0079-6700, <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2022.101546>.

ROTHON, R.N. **Particulate Fillers for Polymers.** Akron: ISmithers rapra Publishing, 154p.2002.

SANTOS, REGINA & VIEIRA, RÔMULO & VALENTINI, ANTONINHO. **Estudo de Otimização na Produção de Biodiesel via Metodologia de Superfície de Resposta Utilizando Dolomita como Catalisador Heterogêneo**. 2014. J.Catal... 2014. 1-11. [HTTPS://10.1155/2014/213607](https://10.1155/2014/213607)

SANTOS, S. dos; MELO, A. R.; CAMPOS, D. D. P.; LONGARETTI, I. M.; MARQUES, C. R. M. **Estudo da eficiência da resina elastomérica para eflorescência e intemperismo em tintas imobiliárias à base água**. Revista Vincci - Periódico Científico do UniSATC, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 212–232, 2023. Disponível em: <https://revistavincci.satc.edu.br/index.php/Revista-Vincci/article/view/303>. Acesso em: 26 jan. 2024.

SENA, FREDERICO & CÉSAR, CANTÃO & JÚNIOR, CLÁUDIO & ROCHA, RENAN & GALDINO, ANDRÉ. **Avaliação das Características Físico-Mecânicas de Biocompósitos de Hidroxiapatita-Óxido de Titânio Produzidos pelo Método de Adição de Cera Polimérica**. 2019. Fórum de Ciência de Materiais. 958. 87-92. 10.4028/www.scientific.net/MSF. 958,87.

SILVA, A.P; BERINGUEL, L.C; LAURSEN, A. QUEIROZ, E. **A influência do valor de absorção de óleo dos pigmentos e das cargas minerais usadas na fabricação de tintas arquitetônicas**. Engenharia em foco: explorando as múltiplas facetas da ciência e da inovação. Capítulo 7. 2023. DOI: 10.22533/at.ed.8182308127

SOLANO R, PATIÑO-RUIZ D, HERRERA A. **Preparação de tintas modificadas com aditivos nanoestruturados e suas potenciais aplicações**. Nanomateriais e Nanotecnologia . 2020;10. doi: 10.1177/1847980420909188

SOUSA SANTOS, P. **Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras**. 2a ed. vol. 1. São Paulo: Edgard Blücher, Universidade de São Paulo. 1992. 340 p.

SPARDHA JHAMB, MARKUS ENEKVIST, XIAODONG LIANG, XIANGPING ZHANG, KIM DAM-JOHANSEN, GEORGIOS M KONTOGEOGRIS, **A review of computer-aided design of paints and coatings, Current Opinion in Chemical Engineering**, Volume 27, 2020, Pages 107-120, ISSN 2211-3398, <https://doi.org/10.1016/j.coche.2019.12.005>.

SS LUCAS, VM FERREIRA, JL BARROSO DE AGUIAR. **Incorporação de nanopartículas de dióxido de titânio em argamassas — Influência da microestrutura nas propriedades do estado endurecido e na atividade fotocatalítica**. Pesquisa em Cimento e Concreto , Volume 43.2013, Páginas 112-120, ISSN 0008-8846

SURYA NAIR K, BASAVARAJU MANU, ADANI AZHONI, **Sustainable treatment of paint industry wastewater: Current techniques and challenges**, Journal of Environmental Management, Volume 296, 2021, 113105, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113105>.

ŠVARCOVÁ, SILVIE ET AL. **Saponificação em pinturas a têmpera à base de gema de ovo com amarelo chumbo-estanho tipo I**. Journal of Cultural Heritage , v. 8-19, 2019.

SVYATCHENKO, A.V.; KIRYUSHINA, N.YU.; SHARAPOV, O.N. **Techno-Genic Fillers in the Composition of Modern Polymer Paints. Solid State Phenomena.** 2020. 299(), 60–65. doi:10.4028/www.scientific.net/ssp.299.60

TURNER, A. **Paint particles in the marine environment: Na overlooked component of microplastic,** Water Research X, Volume 12, 2021, 100110, ISSN 2589-9147. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>

VALANČIUS Z, R. VAICKELIONIENĖ, G. VAICKELIONIS, P. MAKČINSKAS, **Use of an industrial by-product phosphogypsum in the production of white textured paints,** Journal of Cleaner Production, Volume 380, Part 1, 2022, 134888, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134888>.

VAZIRI HASSAS, BEHZAD & KARAKAŞ, FIRAT & ÇELİK, MEHMET. **Substituição de TiO₂ por PCC (Carbonato de Cálcio Precipitado) em Tintas Base Água.**2013. [HTTPS://10.13140/2.1.3233.6325](https://doi.org/10.13140/2.1.3233.6325) .

WEG. **Treinamento Desenvolvimento Tecnológico DT-12: Pintura industrial com tintas líquidas.** 2018. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEGapostila-curso-dt-12-pintura-industrial-com-tintas-liquidas-treinamento-portuguesbr.pdf>. Acesso em: 06/03/2023.

YOUSEFI, F., MOUSAVI, SB, HERIS, SZ . **Propriedades de proteção UV de revestimentos de película fina híbridos econômicos à base de PMMA usando nanopartículas de TiO₂ e ZnO: uma avaliação abrangente.** Sci Rep 13, 7116 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34120-z> .

ZAMBARE, N.M., NASER, N.Y., GERLACH, R. **ET AL. Mineralogy of microbially induced calcium carbonate precipitates formed using single cell drop-based microfluidics.** Sci Rep 10, 17535 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73870-y>