



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil

Curso de Graduação em Engenharia Civil



Higor Martins do Valle

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS NATURAIS
POR RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DA PEDRA SABÃO
E DO VIDRO EM MATRIZES DE RESINA EPÓXI**

Ouro Preto

2022

Análise da substituição de agregados naturais por resíduos do beneficiamento da
pedra sabão e do vidro em matrizes de resina epóxi

Higor Martins do Valle

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 26/10/2022

Área de concentração: Materiais e Componentes da Construção

Orientador: Prof. D.Sc. Guilherme Jorge Brigolini Silva – UFOP

Orientadora: M.Sc. Marina Altoé Caetano – UFOP

Ouro Preto

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

V181a Valle, Higor Martins do.

Análise da substituição de agregados naturais por resíduos do beneficiamento da pedra sabão e do vidro em matrizes de resina epóxi. [manuscrito] / Higor Martins do Valle. - 2022.

104 f.: il.: color., tab..

Orientadores: Prof. Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva, Ma. Marina Altoé Caetano.

Coorientador:

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Resinas epoxi. 2. Resíduo - Pedra-sabão. 3. Resíduo de Vidro. 4. Revestimentos - Pisos. 5. Planejamento em rede - Simplex (simplex lattice design). I. Caetano, Marina Altoé. II. Silva, Guilherme Jorge Brigolini. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Higor Martins do Valle

Análise da substituição de agregados naturais por resíduos do beneficiamento da pedra sabão e do vidro em matrizes de resina epóxi

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em 26 de outubro de 2022

Membros da banca

Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Ms. Marina Altoé Caetano - Coorientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Ms. Laís Cristina Barbosa Costa - Universidade Federal de Ouro Preto
Ms. Fernanda Pereira da Fonseca Elói - Universidade Federal de Ouro Preto

Guilherme Jorge Brigolini Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 26/10/2022



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Jorge Brigolini Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/11/2022, às 20:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0421132** e o código CRC **211F44B6**.

*Dedico este trabalho à ciência e
educação, para que todos que
almejam aprimorar os seus
conhecimentos possam usufruir e
colaborar com a pesquisa e inovação.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e amigos por sempre estarem ao meu lado, apoiando e incentivando em todos os momentos. Sem vocês, tudo isso não seria possível!

Agradeço em especial o grupo ATIVE. Com sua ajuda e colaboração pude realizar esse objetivo. Todos do grupo, com a estrutura do laboratório, me acolheram nessa jornada.

Agradeço à Marina pela paciência e atenção ao longo de toda pesquisa. Levarei os seus ensinamentos em toda a minha carreira.

Agradeço ao professor Guilherme pela chance e confiança de realizar um trabalho tão importante.

Agradeço à Bernadka pela colaboração científica e cooperação, compartilhando o seu conhecimento de forma atenciosa.

Agradeço à Masterpiso, Master Builders Solutions, Total Revestimentos Industriais, Indústria e Comércio São José e a Divinal Vidros pelo fornecimento de materiais e colaboração técnica para esta pesquisa. Graças a vocês, foi possível realizar esse objetivo.

Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto por me proporcionar um ensino de qualidade. E agradeço a todos os professores do DECIV, pela dedicação e ensinamentos.

RESUMO

O sistema de revestimento de piso de concreto com resina epóxi vem apresentando uma alta demanda no Brasil desde o início do século. Assim como, a empregabilidade de resíduos sólidos provenientes da construção civil e indústria em materiais, como forma de se aprimorar os materiais e reduzir os impactos ambientais. Desse modo, este trabalho buscou avaliar a efetividade da substituição de agregados naturais por resíduos em matrizes de resina epóxi para a aplicação de revestimentos de pisos de concreto. Assim, teve-se o objetivo de avaliar o efeito da resistência mecânica nas propriedades de matrizes em resina epóxi na substituição dos agregados naturais por resíduos do beneficiamento da pedra sabão e do vidro. Utilizando-se de dois diferentes fabricantes, a fim de comparar a diferença entre formulação internacional e nacional, realizou-se análises numéricas dos valores obtidos por ensaios físicos, e traços pré-determinados por planejamento Simplex-Lattice. Com os resultados analíticos, aproveitou-se de perfis de usabilidade para determinar o melhor traço de substituição do agregado pelo resíduo, através de superfícies de resposta. Desse modo, chegou-se a teores ótimos de substituição de 50% para o resíduo de pedra sabão e de até 90% para o resíduo de vidro. Sendo que, para ensaios de propriedades específicas, foi possível obter altos teores de substituição para ambos os resíduos. Nessa perspectiva, percebeu-se que com a aplicação dos resíduos nos teores de substituição dos perfis de usabilidade, as propriedades das matrizes de resina epóxi se mantiveram ou até mesmo melhoraram. Isso evidencia a possibilidade da substituição de parte dos agregados, a fim de manter o desempenho das matrizes ou até mesmo melhorá-las em algumas propriedades específicas.

Palavras-chaves: Resina Epóxi, Resíduo de Pedra Sabão, Resíduo de Vidro, Revestimento de Piso, Planejamento Simplex-Lattice.

ABSTRACT

The epoxy resin concrete floor coating system has been in high demand in Brazil since the beginning of the century. As well as the employability of solid waste from civil construction and industry in materials, as a way to improve materials and reduce environmental impacts. Thus, this work sought to evaluate the effectiveness of replacing natural aggregates with residues in epoxy resin matrices for the application of concrete floor coverings. Thus, the objective was to evaluate the effect of mechanical resistance on the properties of epoxy resin matrices in the replacement of natural aggregates by residues from the processing of soapstone and glass. Using two different manufacturers, in order to compare the difference between international and national formulations, numerical analyzes of the values obtained by physical tests and predetermined traits by Simplex-Lattice planning were performed. With the analytical results, we took advantage of usability profiles to determine the best trace of substitution of the aggregate by the residue, through response surfaces. In this way, optimal replacement levels of 50% were reached for soapstone residue and up to 90% for glass residue. Since, for tests of specific properties, it was possible to obtain high levels of substitution for both residues. From this perspective, it was noticed that with the application of residues in the substitution levels of the usability profiles, the properties of the epoxy resin matrices were maintained or even improved. This highlights the possibility of replacing part of the aggregates in order to maintain the performance of the matrices or even improve them in some specific properties.

Keywords: Epoxy Resin, Soapstone Waste, Glass Waste, Floor Covering, Simplex-Lattice Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Configuração espacial de moléculas altamente ramificadas. (a) Ponto de junção tetrafuncional. (b) Pequena porção de uma rede tridimensional, o que indica que o ponto de junção está conectado a outras cadeias de rede, para um tetra ponto de junção funcional, haverá três dessas conexões.	6
Figura 2 – Esquemas de reação para a síntese de resina epóxi do tipo DGEBA.	8
Figura 3 – Classificação dos revestimentos de alto desempenho.	11
Figura 4 – Corte esquemático da aplicação do revestimento monolítico espatulado	12
Figura 5 – Corte esquemático da aplicação do revestimento monolítico autonivelante	13
Figura 6 – Rolo fura bolha empregado para retirar as bolhas incorporadas na resina, além de contribuir para o nivelamento do material.	14
Figura 7 – Corte esquemático da aplicação do revestimento de múltiplas camadas.	15
Figura 8 – Aglomerado de resíduo de vidro do processo de lapidação e polimento do vidro temperado.	19
Figura 9 – Talco de pedra sabão da região de Ouro Preto – MG.	21
Figura 10 – Requisitos de desempenho mínimo por produto.	24
Figura 11 – Exemplos de $\{q,m\}$ lattices.....	26
Figura 12 – Layout do projeto experimental para mistura de três componentes.....	27
Figura 13 – Fluxograma da metodologia a ser adotada.....	28
Figura 14 – Consumo de cada componente de acordo com a ficha técnica da fabricante MBS.....	30
Figura 15 - Consumo geral de acordo com a ficha técnica da fabricante Total Revestimentos Industriais.	31

Figura 16 – Fracionamento dos componentes para a misturas dos traços conforme planejamento Simplex. (a) Resina epóxi da MBS; (b) Catalisador da MBS.	32
Figura 17 – Trituração do resíduo de vidro fornecido pela Divinal Vidros.	33
Figura 18 – Moagem do resíduo de vidro em um moinho bolha. (a) Material adicionado após ser triturado e seco; (b) Material moído após 30 min.	34
Figura 19 – Molde metálico 40x40x160 mm.	36
Figura 20 – (a) Molde metálico com a resina epóxi; (b) Corpos de prova retirados do molde após o tempo de cura.	37
Figura 21 – Prensa servo-controlada universal – EMIC DL20000/PC200 do LMC/UFOP.	38
Figura 22 – Ensaio de tração na flexão com 3 pontos realizado na prensa servo-controlada universal no LMC/UFOP.	38
Figura 23 – Ensaio de consistência com a resina epóxi.	40
Figura 24 – Medição a abertura da resina com a régua.	41
Figura 25 – Molde de madeira Pinus nas dimensões de 30x30 cm.	42
Figura 26 – (a) Aplicação de graute nos moldes de madeira; (b) Espessura das placas de graute; (c) (d) Placas de graute de 30x30cm desformadas e prontas para aplicação do revestimento.	43
Figura 27 – (a) Placas de graute primer; (b) Aplicação do revestimento epóxi com o rolo fura-bolha; (c)(d) Placas com a aplicação do revestimento monolítico autonivelante de traços definidos pelo planejamento simplex.	44
Figura 28 – Amostras dos traços definidos pelo planejamento SLD para a realização do ensaio de resistência à abrasão.	45
Figura 29 – Furadeira de bancada utilizada para a realização do ensaio.	46
Figura 30 – Espaçamento mínimo entre furos.	47

Figura 31 – (a) Placa com revestimento monolítico autonivelante epóxi com os furos para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração; (b) Pastilhas circulares coladas nos furos com Sikadur® para o ensaio.....	47
Figura 32 – (a) Dinamômetro de tração acoplado em pastilhas circulares para a realização do ensaio na placa com revestimento; (b) Pastilhas circulares após a ruptura no ensaio, demonstrando a superfície rompida.	48
Figura 33 – Curva granulométrica do agregado da Master Builders Solutions. ...	50
Figura 34 – Curva granulométrica do agregado da Total Revestimentos.	51
Figura 35 – Curva granulométrica do pó de vidro.	52
Figura 36 – Curva granulométrica do talco de pedra-sabão.	52
Figura 37 – DRX dos agregados e resíduos deste trabalho.	55
Figura 38 – MEV do agregado da MBS. (a) Ampliação de 200 vezes; (b) Ampliação de 500 vezes; (c) Ampliação de 2000 vezes; (d) Ampliação de 5000 vezes.....	57
Figura 39 – MEV do agregado da Total Revestimentos. (a) Ampliação de 200 vezes; (b) Ampliação de 500 vezes; (c) Ampliação de 2000 vezes; (d) Ampliação de 5000 vezes.	59
Figura 40 – MEV do pó de vidro. (a) Ampliação de 200 vezes; (b) Ampliação de 500 vezes; (c) Ampliação de 2000 vezes; (d) Ampliação de 5000 vezes.....	60
Figura 41 – MEV do talco de pedra-sabão. (a) Ampliação de 200 vezes; (b) Ampliação de 500 vezes; (c) Ampliação de 2000 vezes; (d) Ampliação de 5000 vezes.	62
Figura 42 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.	63
Figura 43 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra-sabão.....	64
Figura 44 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.	65

Figura 45 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.	65
Figura 46 – Superfície de resposta para a resistência à compressão da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.	67
Figura 47 - Superfície de resposta para a resistência à compressão da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra-sabão.	67
Figura 48 - Superfície de resposta para a resistência à compressão da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.	68
Figura 49 - Superfície de resposta para a resistência à compressão da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.	69
Figura 50 - Superfície de resposta para a consistência da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.....	70
Figura 51 - Superfície de resposta para a consistência da resina da Total Revestimento com o resíduo talco de pedra sabão.	71
Figura 52 - Superfície de resposta para a consistência da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.....	72
Figura 53 - Superfície de resposta para a consistência da resina da Total Revestimento com o resíduo pó de vidro.	72
Figura 54 – Superfície de resposta para a resistência à abrasão da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.	74
Figura 55 - Superfície de resposta para a resistência à abrasão da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra-sabão.	74
Figura 56 - Superfície de resposta para a resistência à abrasão da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.	75
Figura 57 - Superfície de resposta para a resistência à abrasão da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.	76

Figura 58 - Superfície de resposta para a resistência ao arrancamento da resina da MBS com o resíduo talco de pedra sabão.....	77
Figura 59 - Superfície de resposta para a resistência ao arrancamento da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra sabão.....	78
Figura 60 - Superfície de resposta para a resistência ao arrancamento da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.	79
Figura 61 - Superfície de resposta para a resistência ao arrancamento da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.	79
Figura 62 – Perfil de usabilidade da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.	80
Figura 63 - Perfil de usabilidade da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.....	81
Figura 64 - Perfil de usabilidade da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.	82
Figura 65 - Perfil de usabilidade da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra sabão.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Plano de experimento para a resina da Master Builders Solutions...	31
Tabela 2 – Plano de experimento para a resina da Total Revestimentos.....	32
Tabela 3 – FRX dos agregados e resíduos estudados.....	53

LISTA DE SIGLAS

CP – Corpo de Prova

MBS – Master Builders Solutions

NBR – Norma Brasileira

RAD – Revestimento de Alto Desempenho

R/A – Resina/Agregado

SLD – Simplex-Lattice Design

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo	3
1.1.1	Objetivos Específicos	3
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Resina epóxi	4
2.2	Aplicação de resina epóxi em revestimentos de pisos de concreto.....	9
2.2.1	Revestimento monolítico espatulado	12
2.2.2	Revestimento monolítico autonivelante.....	13
2.2.3	Revestimento de múltiplas camadas.....	14
2.3	Resíduos	15
2.3.1	Pó de vidro	17
2.3.2	Talco de pedra sabão	20
2.4	Aplicação de resíduos em matrizes de resina epóxi.....	22
2.5	Avaliação de desempenho	23
2.6	Análise numérica	25
3	Metodologia.....	28
3.1.1	Materiais.....	29
3.1.2	Plano experimental	30
3.1.3	Beneficiamento dos resíduos	33
3.1.4	FRX.....	34
3.1.5	DRX	35
3.1.6	MEV	35

3.1.7	Ensaio de resistência à tração na flexão.....	36
3.1.8	Ensaio de resistência à compressão.....	39
3.1.9	Ensaio de consistência	40
3.1.10	Ensaio de resistência à abrasão	41
3.1.11	Ensaio de resistência de aderência à tração.....	46
4	Resultados	50
4.1	Caracterização.....	50
4.1.1	Análise Granulométrica	50
4.1.2	FRX.....	53
4.1.3	DRX	55
4.1.4	MEV	56
4.2	Resistência à tração na flexão.....	63
4.3	Resistência à compressão.....	66
4.4	Consistência	70
4.5	Resistência à abrasão	73
4.6	Resistência a aderência à tração.....	77
4.7	Perfis de usabilidade	80
5	Conclusão	85
	Referências.....	88
	APÊNDICE A – ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	92
	A.1 – MASTER BUILDERS SOLUTIONS COM TALCO.....	92
	A.2 – TOTAL REVESTIMENTOS INDUSTRIAIS COM TALCO.....	93

A.3 – MASTER BUILDERS SOLUTIONS COM PÓ DE VIDRO	94
A.4 – TOTAL REVESTIMENTOS INDUSTRIAIS COM PÓ DE VIDRO	95
ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO MASTERTOP 1230	96
ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO TOTAL AN 2.5.....	103

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade sempre esteve atrelado à construção civil, desde o homem das cavernas há 12.000 anos (OLIVEIRA, 2016), até os maiores arranha-céus atuais. Junto à essa evolução está associado a aplicação de materiais, muitas das vezes artificiais. O papel da tecnologia desses novos materiais permitiu grandes avanços na construção com alto desempenho, segurança e qualidade.

Além disso, o setor da construção civil apresenta uma alta influência na geração de resíduos, muitas vezes devido ao erro de manuseio dos materiais ou até mesmo pela superprodução de componentes, como argamassas e gesso (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2020). Assim, na maioria dos casos, esses despejos de materiais são realizados de forma indevida, impactando principalmente o meio-ambiente. Dessa forma, a reciclagem de resíduos tem um importante papel para a sustentabilidade, com o objetivo de atenuar os impactos ambientais ou até mesmo reduzir os custos de produção, utilizando matérias-primas recicladas.

Desse modo, o desenvolvimento e a criação de materiais atualmente, têm por objetivo implementar novas tecnologias a fim de aprimorar propriedades e características, obtendo assim um melhor desempenho. Além disso, dispõe-se da utilização de resíduos provindos de reciclagem da indústria, com o intuito de promover sustentabilidade com a redução dos impactos ambientais.

Dentre os materiais que compuseram o nosso desenvolvimento, destaca-se os materiais poliméricos. Os processos de polimerização começaram a ser viabilizados pela ciência no início do século XX, permitindo a síntese plena de polímeros modificados a partir de materiais naturais (GORNI, 2003). Com isso, os processos de polimerização estão sendo aperfeiçoados desde então, permitindo obter produtos tecnológicos e sofisticados com grande aplicação na construção civil, como borrachas e resinas, por exemplo. Assim, os polímeros mais aplicados na construção civil são os epóxis, poliuretanos, acrílicos, silicones, polissulfetos, alquídicos e poliésteres.

Assim, ao analisar a aplicação dessas resinas para o revestimento de pisos em concreto, têm-se que o segmento de maior aplicação é a indústria (ANAPRE, 2022).

As plantas industriais possuem diversos processos produtivos, que em grande parte, há ataques químicos e desgastes físicos, danificando o concreto. Dessa forma, surgiu a aplicação de revestimentos que proporcionam a proteção desses pisos, a fim de garantir resistência química e física, além de ter um grande apelo estético.

O revestimento epóxi para revestimento de pisos industriais possui características únicas, oferecendo benefícios em sua aplicação para diversos setores. Devido ao seu processo de reação química, essa resina possui um processo de cura rápida, permitindo o tráfego de pessoas em 8 horas, em condições de temperatura ambiente, e uma cura final de 7 dias (IRFAN, 1998). Além disso, ela é aplicada de forma contínua, formando assim um revestimento monolítico, que possui um alto acabamento e podendo ser de diversas cores.

Atualmente, a aplicação de resíduos de origem dos mais diversos setores tem sido destinada na construção civil principalmente em concretos, argamassas e materiais compósitos. Contudo, ao analisar a esse tipo de aplicação para resinas, no caso a epóxi, percebe-se que ainda é uma área pouco estudada quando comparada ao concreto, por exemplo. Dessa forma, as pesquisas existentes voltadas para aplicação de epóxi têm como ênfase a incorporação de resíduos para resinas com finalidades estruturais ou a produção de argamassas, não tendo grandes destaques na área de revestimento de pisos.

Assim, a proposta desse estudo definiu parâmetros para validar o estudo da utilização desses resíduos, com diferentes teores, de forma a comparar se os resultados da substituição do material propiciariam melhorias e também a redução de custos. Busca-se melhorias nas propriedades das resinas epóxi para uso de revestimento em pisos de concreto, com a incorporação de resíduos, provenientes das indústrias de pedra sabão da região de Ouro Preto – MG e do vidro temperado fornecidos pela Divinal Vidros em Contagem – MG. Com esses resíduos, tem-se a expectativa de melhorias nas resistências mecânicas através do resíduo de pedra sabão, mais especificamente o seu talco, e o ganho de resistência abrasiva com a incorporação de pó de vidro.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é avaliar a otimização das propriedades de matrizes em resina epóxi com a substituição de agregados naturais por resíduos do beneficiamento da pedra sabão e do vidro.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar a efetividade da aplicação de resina epóxi como revestimento de piso na substituição dos agregados naturais da resina pelos resíduos;
- Avaliar o desempenho mecânico das resinas com os resíduos incorporados para certificar a possibilidade de emprego do produto no mercado;
- Analisar duas formulações diferentes de resina epóxi com a substituição de resíduos na construção civil;
- Investigar as alterações das propriedades das matrizes com resíduo;
- Contribuir com a literatura a respeito de aplicabilidade de resíduos incorporados em materiais de construção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resina epóxi

As resinas epóxi são amplamente utilizadas na construção civil e nas aplicações de engenharia civil, além de ocupar uma posição de destaque quando comparado a outros polímeros (IRFAN, 1998). Esse tipo de resina possui a mesma base de composição química para as mais diversas aplicações, variando apenas o catalisador utilizado e os agregados incorporados, a fim de ganhar propriedades específicas (ELLIS, 1993).

O epóxi é um material polimérico, e analisando a origem da palavra polímero, identifica-se que ela vem do grego, em que *poli* (muitos) e *mero* (unidades de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente (CANEVAROLO JR., 2006). Segundo Canevarolo Jr. (2006), a matéria-prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. Dessa denominação, obtém-se a configuração de um material polimérico, como a resina epóxi, sendo aquele constituído de dois ou mais monômeros de anéis oxirano ou grupos epóxi.

De acordo com Lee e Neville (1967), uma resina epóxi é definida como uma molécula contendo mais do que um grupo α -epóxi (seja situado internamente, terminalmente ou em estruturas cíclicas), capaz de ser convertida em uma forma termoendurecível útil. A conversão citada pelo autor, se deve ao fato da reação química da resina com algum tipo de endurecedor que seja adequado, o que permite dar aplicações para a resina epóxi. Segundo o autor, o termo é usado para indicar as resinas tanto no estado termoplástico (não curado), quanto no estado termofixo (curado).

Dessa forma, dentre as resinas poliméricas, existem as que são caracterizadas como termoplásticos e termofixos. Segundo Canevarolo Jr. (2006), a principal diferença entre os tipos se deve ao fato que as resinas termoplásticas amolecem e apresentam fluidez quando sujeitas a um aumento de temperatura e pressão. Este

fenômeno não acontece com as resinas termofixas ou termorrígidas, que após seu processo de cura, quando aquecido novamente, torna-se infusível e insolúvel. Além disso, os tipos de ligações podem explicar a diferença entre essas duas características. As resinas termofixas possuem ligações cruzadas, que possuem força igual ou superior às ligações entre carbono através de duas cadeias poliméricas (ELLIS, 1993). Segundo Ellis (1993), as resinas termoplásticas, possuem ligações secundárias, de menor força de atração entre suas cadeias poliméricas.

As resinas epóxi são uma classe de resinas termofixas, que possuem destaque entre os demais materiais da mesma categoria, por diversos fatores. Dentre eles, é possível citar, com destaque para a construção civil, sobre o seu processo de cura. Segundo Ratna (2009), a resina epóxi possui uma retração baixa com menor tensão residual no produto curado do que a encontrada na polimerização do vinil para a cura de resinas poliéster insaturadas, por exemplo. Além disso, esse polímero possui uma variação eficiente e rápida do estado líquido com baixa viscosidade, para o estado sólido e monolítico (ELLIS, 1993).

O processo de cura desse tipo de material polimérico envolve a reação química com endurecedores. Inicialmente, há uma reação entre os grupos reativos de epóxi e do endurecedor, de modo a formar moléculas maiores (FLORY, 1953). Segundo Ellis (1993), à medida que a cura prossegue, moléculas cada vez maiores são formadas, mas deve-se notar que o tamanho molecular médio ainda é pequeno, mesmo quando metade dos grupos reativos já reagiram. Dessa forma, com a formação de moléculas cada vez maiores com o avanço da cura, formam-se moléculas cada vez mais ramificadas, criando assim estruturas ramificadas.

O ponto crítico da cura da resina epóxi é a gelificação. De acordo com Ratna (2009), o ponto de gel é considerado um ponto na polimerização onde a estrutura da rede ocorre primeiro com probabilidade unitária. Em outras palavras, para um composto realizar a polimerização, ele precisa criar estruturas ramificadas com monômeros, a fim de se criar uma estrutura maior, denominada polímero. Com a formação dessa rede ramificada, determina-se qual ramificação foi criada primeiro. Obtendo esse ponto por análises químicas e estatísticas, determina-se o ponto de gel,

que indica o início da ramificação das estruturas por toda a amostra. Além disso, têm-se por característica a mudança de estado físico, em que a resina epóxi passa do estado líquido para o estado borrachoso, adquirindo propriedades elásticas não presentes em moléculas de baixo peso molecular, e pré-polímeros lineares ou ramificados (ABREU, 2014).

A teoria da gelificação foi desenvolvida por Flory (1953). Segundo o autor, é necessário prever a extensão da reação necessária para a formação de uma molécula infinita. Assim, como a formação de uma molécula infinita ocorre no ponto de gel, qualquer unidade repetida em tal molécula deve ser conectada a outra unidade por meio de uma unidade ramificada, neste caso o endurecedor. A teoria pode ser ilustrada na Figura 1, em que é representada a configuração espacial de moléculas altamente ramificadas.

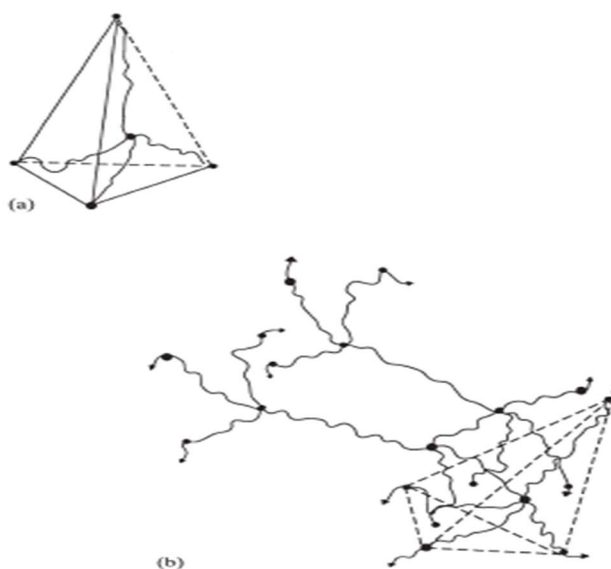


Figura 1 – Configuração espacial de moléculas altamente ramificadas. (a) Ponto de junção tetrafuncional. (b) Pequena porção de uma rede tridimensional, o que indica que o ponto de junção está conectado a outras cadeias de rede, para um tetra ponto de junção funcional, haverá três dessas conexões.

Fonte: Flory (1953).

Assim, é possível analisar que antes da gelificação, a amostra é solúvel em solventes adequados, porém após o ponto de gel a rede não se dissolve. Ela apenas incha à medida que absorve o solvente. Dessa forma, para a utilização das resinas epóxi, é importante realizar a mistura correta com o endurecedor e quaisquer outros componentes, antes do início da gelificação. De acordo com Ellis (1993), a origem de algumas das características morfológicas observadas nas resinas curadas pode muito bem ser devido à mistura incompleta, de modo que existem regiões ricas em endurecedor e, portanto, vice-versa. Pela mesma razão, é importante adotar o padrão estequiométrico correto. Pois, quando realizado de forma correta, a homogeneidade da reação permitirá atingir ótimas propriedades físicas e químicas.

Nesse sentido, existe o conceito de *pot-life*. Esse termo é utilizado para indicar o tempo após a mistura da resina com o endurecedor, em que a resina ainda possa ser utilizada para aplicações como impregnação, fundição ou outras operações que envolvam e demandem a trabalhabilidade do material. Segundo Ellis (1993), Tais operações devem ser concluídas antes que a viscosidade da resina comece a aumentar à medida que o ponto de gelificação se aproxima.

Durante o processo de cura, há outro processo importante para a validação das propriedades da resina epóxi. Pois, bem como a gelificação, há o fenômeno denominado como vitrificação. Assim, a definição de vitrificação está associada a uma temperatura de transição vítrea (T_g). Segundo Ellis (1993), essa definição está relacionada ao seu método de medição e também dependerá do histórico térmico da amostra. Pois, por exemplo, na determinação da temperatura volumétrica de transição vítrea, uma amostra é geralmente resfriada acima de T_g , enquanto por outros métodos, envolve o aumento da temperatura da amostra a uma taxa abaixo de T_g . Assim, para uma resina termofixo que esteja totalmente curada, no caso a resina epóxi, o autor explica que a redução de agitação molecular com o aumento da extensão da reação faz com que a temperatura de transição vítrea da amostra aumente. Logo, com o início das reações químicas, a amostra atinge sua vitrificação, tendo suas características e especificações conforme a temperatura de cura, T_o , e a taxa de cura, que é dependente da reatividade do endurecedor com a resina.

Dessa forma, pode-se definir a transição vítrea como um ponto de transição que é passível de ser revertida entre o estado líquido e sólido. Na resina epóxi, essa transição é perceptível com o aumento da viscosidade do material, o que permite apresentar o ganho de propriedades mecânicas. Além disso, a vitrificação pode ser marcada pela transição (tempo de vitrificação) de um estado líquido ou borrachoso, para um estado vítreo, como uma consequência do incremento no peso molecular antes da gelificação, ou incremento na densidade de emaranhamento depois da gelificação (ABREU, 2014).

Ademais, é possível caracterizar a resina epóxi, segundo Irfan (1998), como um material não finalizado, mas que é quimicamente reativo, que são combinados com outros produtos químicos para fornecer sistemas capazes de conversão em produtos termofixos predeterminados. Nesse sentido, como já mencionado, o epóxi varia do estado líquido para o estado sólido com propriedades físicas e mecânicas com grande aplicabilidade para o setor da construção civil.

Na Figura 2 é possível demonstrar a formação molecular de uma resina epóxi a partir da reação de epícloridina (ECD) e bisfenol A (BPA), formando a resina epóxi mais comumente empregada, o éter diglicídico de bisfenol A (DGEBA).

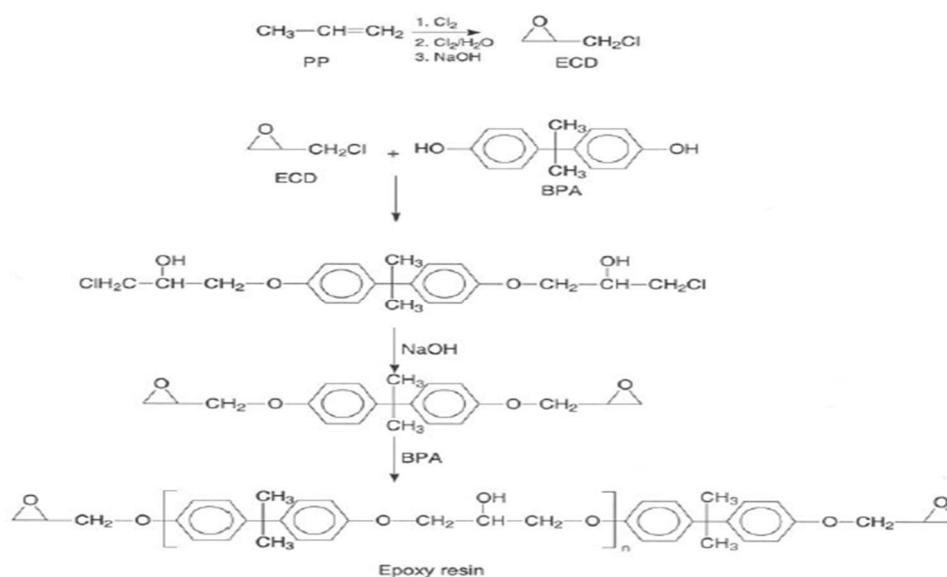


Figura 2 – Esquemas de reação para a síntese de resina epóxi do tipo DGEBA.

Fonte: Ratna (2009).

2.2 Aplicação de resina epóxi em revestimentos de pisos de concreto

O setor de revestimentos em pisos de concreto em grande parte está atrelado ao desenvolvimento industrial e o avanço na melhoria dos insumos poliméricos. De acordo com Fernando Sarti (2011), a indústria foi o motor de crescimento econômico brasileiro no período de 1950-1980, quando o país constituiu uma estrutura industrial relativamente diversificada, integrada e impulsionada pelo mercado doméstico.

Nessa perspectiva, o mercado de revestimentos para pisos de concreto se desenvolveu mais expressivamente no Brasil na década de 80. Segundo a ANAPRE (2004), foi nesse momento que os revestimentos autonivelantes de epóxi começaram a ocupar um espaço fundamental em vários segmentos industriais, devido às suas destacadas propriedades mecânicas, resistência química, fatores estéticos e grande facilidade de limpeza. Nota-se que comumente os concretos têm em seu dimensionamento especificações para as cargas de utilização, específicas de acordo com o uso esperado, que em grande parte, não é considerado a resistência superficial desse concreto. Há soluções empregadas no mercado para esse tipo de limitação como o tratamento superficial a base de argamassas com cimento, agregados metálicos e aditivos especiais. Contudo, esses tratamentos normalmente não suportam os intensos ataques químicos e físicos das indústrias. Além disso, o concreto possui uma menor vida útil quando comparado aos revestimentos de alto desempenho quando submetido a ambientes hostis, como também não evita a proliferação bacteriana em sua superfície (ANAPRE, 2022).

Da mesma forma que houve a expansão do setor industrial, e consequentemente, o aumento da aplicação de resina epóxi em pisos de concreto, teve-se a necessidade de se criar uma norma regulamentadora a fim de estabelecer os parâmetros técnicos de como aplicar, ensaiar e caracterizar esse tipo de material.

Assim, foi criada em 1998 a Norma Brasileira 14050 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998), denominada “sistemas de revestimento de alto desempenho, à base de resinas epoxídicas e agregados minerais – Projeto, execução e avaliação do desempenho – Procedimento”. Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998), os sistemas de revestimento de alto desempenho (RAD)

constituem famílias de produtos compostos basicamente de aglutinantes à base de resinas epoxídicas e agregados minerais, além de resultar em um acabamento final resistente aos ataques químicos e às solicitações físicas.

Essa norma teve como objetivo padronizar os meios de aplicação dos produtos RAD, dos quais necessitam atender conjunta ou independentemente requisitos higiênicos e estéticos, anticorrosivos, antiderrapantes, resistência à abrasão e a impactos. Além disso, avalia-se a resistência à ação mecânica, de revestimentos aplicados sobre substratos de concreto e metálico.

Dentre as aplicações da resina epóxi como revestimento de pisos de concreto, é possível avaliar os prós e contras de sua aplicação. Assim, caracterizando as principais vantagens de pisos de alto desempenho com resinas epóxi (OLIVEIRA, 2017), tem-se:

- Rápida aplicação;
- Alta resistência química e física;
- Grande durabilidade;
- Fácil manutenção e limpeza;
- Acabamento estético, brilhante e liso;
- Impermeabilidade;
- Baixa espessura e consequente baixa sobrecarga;
- Monolítico;
- Permite panos sem juntas.

Por outro lado, é possível listar pontos negativos em relação ao emprego desse tipo de revestimento (OLIVEIRA, 2017), como:

- Não há resistência ultravioleta para a resina epóxi. Logo, caso o revestimento tenha contato constante e intenso com radiação UV, o revestimento desbotará;
- Risca e mancha com facilidade com tráfego de veículos;
- Custo relativamente alto, quando comparado a alguns tipos de revestimentos, como os cerâmicos, por exemplo.

É possível caracterizar os tipos de revestimentos aplicados com a resina epóxi. Essa diferenciação se dá pela forma como são aplicados, além da espessura e agregados a serem utilizados. A Figura 3 resume os tipos de RAD e suas especificações. Cada classe de revestimento possui uma aplicação específica, sendo definido conforme a sua necessidade e custo.

Tipo	Classe	Descrição	Espessura ¹⁾ mm	Natureza dos constituintes	Textura superficial ²⁾
01	Monolítico	Espatulado	3,00 a 10,00	Resinas epóxi Endurecedor Agregados minerais	Lisa Semilisa Áspera
02		Autonivelante	1,50 a 6,00	Resinas epóxi Endurecedor Agregados minerais	Lisa
03		Camadas múltiplas	1,50 a 4,00	Resinas epóxi Endurecedor Agregados minerais Pigmentos	Áspera
04	Pintura	Baixa espessura	0,10 a 0,18	Resinas epóxi Endurecedor com ou sem pigmentos com ou sem solventes	³⁾
		Alta espessura	> 0,18 a 1,00	Resinas epóxi Endurecedor sem solventes	
05	Decorativo monolítico	Espatulado	3,00 a 10,00	Resinas epóxi Endurecedor Agregados minerais	Lisa Semilisa Áspera
		Autonivelante	1,50 a 4,00	Resinas epóxi Endurecedor Agregados minerais	Lisa Semilisa
		Camadas múltiplas	1,50 a 4,00	Resinas epóxi Endurecedor Agregados minerais Pigmentos	Semilisa Áspera

¹⁾ Camada/filme seco.

²⁾ O tipo da textura superficial ou seu grau de aspereza pode ser definido através de amostra padrão fornecida pelo fabricante.

³⁾ Depende do substrato.

Figura 3 – Classificação dos revestimentos de alto desempenho.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998).

2.2.1 Revestimento monolítico espatulado

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998), o revestimento monolítico espatulado é um RAD com consistência seca, aplicado à espátula. Conforme demonstrado na Figura 4, é possível observar as camadas e a forma de aplicação desse tipo de revestimento.

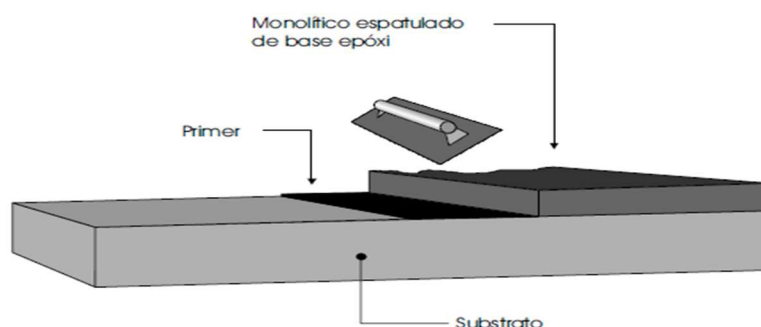


Figura 4 – Corte esquemático da aplicação do revestimento monolítico espatulado

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998).

Como característica principal desse tipo de revestimento, observa-se uma maior quantidade de agregados em relação a quantidade de resina. Essas características influenciam no aumento da resistência à compressão e à abrasão, além uma facilidade em sua manutenção. Contudo, por apresentar um alto teor de agregados, esse tipo de revestimento apresenta-se com mais porosidade que os demais, resultando em uma menor resistência química e, também, uma superfície mais irregular. Assim, tende a apresentar padrões estéticos inferiores, além de uma maior irregularidade de espessura e da superfície.

Dentre os seus métodos de aplicação, inicialmente é feita a preparação do substrato, a fim de polir e limpar a superfície para abrir os poros do substrato. Com a superfície isenta de qualquer impureza e devidamente preparada, aplica-se o primer especificado para o material. Essa imprimação irá realizar o selamento da superfície e será a interface de aderência entre substrato/primer e primer/revestimento. Com o primer devidamente aplicado e respeitado o tempo de utilização do material conforme

fabricante, aplica-se o revestimento monolítico espatulado de base epóxi. Dessa forma, utilizando-se de desempenadeira dentada, controla-se a espessura desejada. É importante salientar as especificações de cada fabricante de resina epóxi, como o seu tempo de cura e método de aplicação, devendo sempre seguir a ficha técnica.

2.2.2 Revestimento monolítico autonivelante

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998), o revestimento monolítico autonivelante é um RAD que possui propriedades de alta fluidez e auto acomodação, sem a necessidade de aplicação forçada, utilizando-se tão somente a força da gravidade. Conforme demonstrado na Figura 5, é possível observar as camadas e a forma de aplicação desse tipo de revestimento.

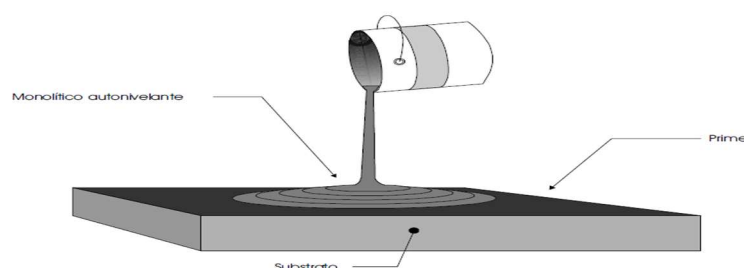


Figura 5 – Corte esquemático da aplicação do revestimento monolítico autonivelante

Fonte: Associação Brasileira de Normas técnicas (1998).

Como característica principal desse tipo de revestimento, observa-se uma maior fluidez do material quando comparado ao tipo espatulado. Essa resina possui uma maior facilidade de aplicação e um maior nivelamento. Essas características influenciam em um ótimo acabamento estético, liso e brilhante, além da facilidade na higienização. Além disso, por apresentar um teor mais equilibrado de resinas e agregados, o revestimento monolítico autonivelante é mais uniforme, tendo uma boa resistência química e física.

Os métodos de aplicação diferem um pouco do revestimento espatulado, devido as diferentes características dos materiais, principalmente em relação à sua fluidez. Inicialmente é feita a preparação do substrato, conforme já mencionado

anteriormente. Com o primer devidamente aplicado e respeitado o tempo de utilização conforme fabricante, aplica-se o revestimento monolítico autonivelante de base epóxi. Assim, utilizando-se de desempenadeiras ou rodos dentados, controla-se a espessura desejada. Após o espalhamento do material no substrato, utiliza-se o rolo fura-bolhas ou quebra-bolhas. Esse rolo é o apresentado na Figura 6, e tem como funcionalidade retirar as bolhas que estejam incorporadas a resina e contribui para o nivelamento do material.



Figura 6 – Rolo fura bolha empregado para retirar as bolhas incorporadas na resina, além de contribuir para o nivelamento do material.

Fonte: DUPOL (2022).

Respeitado o tempo de cura e tendo aplicado o material de forma correta, obtém-se um revestimento monolítico, brilhante e liso, com ótima resistência física e química.

2.2.3 Revestimento de múltiplas camadas

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998), o revestimento de múltiplas camadas é um RAD formado por um conjunto de camadas superpostas e intimamente aderidas entre si. Como mostrado na Figura 7, é possível observar as diversas camadas empregadas nesse tipo de revestimento.

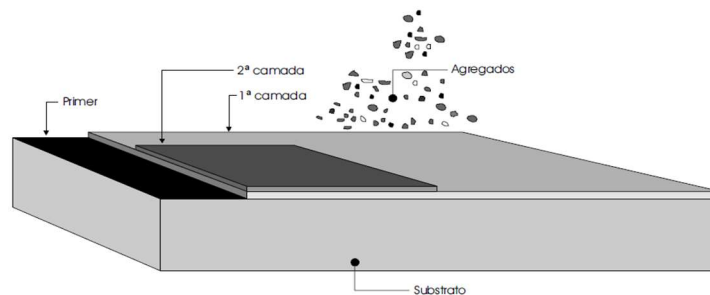


Figura 7 – Corte esquemático da aplicação do revestimento de múltiplas camadas.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998).

Tem-se como característica principal desse tipo de revestimento, uma maior intercalação de camadas entre agregado e resina. Esse tipo de revestimento possui uma alta resistência ao impacto e à abrasão, redução no custo de aplicação devido a aplicação de agregados ao invés de resina e uma boa planicidade. Essas características impactam em um bom acabamento estético, além das boas resistências mecânicas e facilidade de manutenção. Logo, esse revestimento apresenta propriedades similares ao revestimento monolítico autonivelante, porém com resistência química e física inferior.

O método de aplicação difere dos demais revestimentos, pois apresenta diversas etapas de aplicação. Inicialmente é feita a preparação do substrato, conforme já mencionado anteriormente. Assim, com o substrato preparado, aplica-se o primer com uma aspersão de areia. Com o primer e a aspersão devidamente aplicados e respeitado o tempo de utilização do fabricante, aplica-se o processo de “raspadinha” com a resina epóxi, o que se refere à apenas desempenar o material no piso, para nivelar a superfície com os grãos de areia. Após esse processo, realiza-se um novo polimento e aplica demãos de tinta epóxi, para o acabamento.

2.3 Resíduos

A construção faz parte da humanidade desde a pré-história quando o homem percebeu a necessidade de procurar abrigo e proteção (BRAZILIAN JOURNAL OF

DEVELOPMENT, 2020). Atrelado ao desenvolvimento humano, está o aprimoramento dos materiais de construção, em busca de uma maior segurança, versatilidade e conforto nas edificações.

Porém, dentro dessa evolução, houve a intensificação da indústria da construção civil. Essa indústria é responsável por uma grande quantidade de materiais, com uma alta produção de matéria-prima para a cadeia de suplementos do setor, exigindo altos gastos energéticos e gerando diversos rejeitos. Durante o processamento industrial podem ser gerados resíduos sólidos perigosos, não-inertes ou inertes. De fato, esses resíduos requerem atenção nos setores operacional e de meio ambiente da indústria, a fim de evitar a mistura durante as atividades de acondicionamento, coleta, tratamento e destino final.

Ao analisar os principais problemas ambientais, observa-se que a produção de resíduos industriais constitui uma das principais formas de degradação do meio ambiente (CÍNTIA MADUREIRA ORTH, 2014). Apesar de não ter dados precisos e atualizados sobre a geração de resíduos industriais no Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), aprovou a Resolução nº 307, sobre os resíduos da construção civil, estabelecendo diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

Dessa forma, segundo Valle (1995) os resíduos da construção civil são definidos como os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc. Assim, observa-se um grande potencial para a redução dos resíduos gerados na construção civil.

Nesse sentido, a gestão de resíduos contribui diretamente para sustentabilidade e meio ambiente, uma vez que, através da reciclagem, aproveitamento, ou até mesmo da redução da produção de resíduos sólidos há uma redução na má destinação dos resíduos. Porém, a incorporação dos conceitos de desenvolvimento sustentável e de atuação responsável requer uma mudança cultural nas empresas, em todos os seus

níveis funcionais. Assim, a indústria da construção civil, como uma das principais responsáveis pela geração de resíduos e também pelo consumo de recursos naturais não renováveis, deve adotar como padrão de desenvolvimento, estratégias que sejam ambientalmente mais adequadas e produtos mais ecoeficientes.

Nesse contexto, surge a proposta de reciclagem de materiais. Essa reciclagem põe em prática uma forma de reaproveitar matérias-primas, tais como, papel, plásticos, latas de alumínio e de aço, vidro, orgânicos e outros. Assim, é gerada uma nova quantidade de materiais a partir do material captado no mercado e reprocessado para ser comercializado, existindo grandes economias, seja em energia e, ou, matéria prima (ROSA, MORAES, *et al.*, 2005).

2.3.1 Pó de vidro

O vidro é um material versátil dentro da arquitetura e construção civil, logo que pode assumir diferentes formas, tamanhos e cores, além de ser seguro e higiênico. A tecnologia empregada em sua produção permitiu vantagens em suas propriedades, como a redução do seu peso à medida que foi se tornando mais resistente. Segundo Silva e Emiliano (2017), o vidro é encontrado na construção civil sob diversas formas, em janelas, portas, blocos, elementos decorativos, divisórias, entre outros. Dessa forma, ele tem uma grande influência na geração de resíduos, devido a sua alta produção.

Do mesmo modo, o vidro pode ser definido como o produto amorfo resultante da fusão e posterior solidificação de uma mistura de materiais inorgânicos. As matérias-primas mais comuns são sílica, barrilha, calcário e alumina (DIVINAL VIDROS, 2018). Já segundo o BNDES (2007), a fabricação de vidro pode ser classificada como intensiva em energia, considerando-se que consome, por tonelada, cerca de 1,8 milhão de kcal de energia térmica na fusão e cerca de 200 kWh/t de energia elétrica em outras etapas do processo.

Existem diversas formulações de vidro, contudo a formulação e o modo de produção apresentado é do tipo de vidro a ser utilizado durante o desenvolvimento

deste trabalho. Toda a matéria-prima de vidro deste trabalho foi fornecido pela Divinal Mineira Vidros, localizada em Contagem – MG. De acordo com a Divinal Vidros (2018), os materiais são misturados e processados para garantir que não há impurezas. A mistura é depositada em um forno industrial que pode chegar a temperaturas próximas à 1.600°C. Com essa temperatura, a mistura se torna um líquido viscoso.

Com os materiais totalmente fundidos, a empresa despeja o líquido em uma banheira com estanho, com pelo menos 15 cm de profundidade. Como o estanho é um material mais denso, o líquido do vidro flutua, ficando completamente plano e totalmente separado do estanho, etapa conhecida como *banho float*. Após esse processo, o vidro ainda quente passa dentro de roletes, que têm por finalidade definir a espessura das placas de vidro. Quanto mais devagar a placa passar pelos roletes, menor será a espessura. Com o formato e espessura já definidos, faz-se então o resfriamento dos vidros. Esse processo envolve duas etapas, a de recozimento e a de esfriamento ao ar livre, e é de extrema importância para garantir a longevidade do vidro (DIVINAL VIDROS, 2018).

Dessa forma, com a produção do vidro finalizada, ele passa por um processo de beneficiamento, com o objetivo de ganhar mais resistência mecânica e a variabilidade térmica. O beneficiamento é denominado a têmpera do vidro, que segundo Silva (2017), consiste basicamente em reaquecer a placa de vidro no forno a uma temperatura equivalente a 650 °C e posteriormente submetê-lo a um resfriamento com jatos de ar nas duas faces da placa.

Além do processo de têmpera por aquecimento, há o processo realizado quimicamente, em que o vidro recebe um banho de nitrato de potássio, com o objetivo de adquirir as mesmas propriedades do beneficiamento por aquecimento. O processo de beneficiamento químico é mais empregado em vidros que possuem formatos geométricos mais complexos.

Nessa perspectiva, o resíduo de vidro utilizado nesse estudo resulta da lapidação do vidro temperado, utilizado em grande escala na construção civil. Esse processo antecede a etapa de beneficiamento por têmpera das chapas de vidro. Assim, com o vidro devidamente cortado, ele passa por peças denominadas como rebolos

adiamantados. Segundo Antônio (2012), finalizado o processo de lapidação, onde são aparadas as imperfeições geradas pelo corte das chapas, estas passam pelo processo de polimento, responsável pelo arredondamento das laterais já lapidadas.

Todo esse processo é realizado com a utilização de água, pois ela tem o potencial de amenizar o atrito e a temperatura das peças de lapidação. Com isso, aumenta-se a vida útil do maquinário utilizado e evita a quebra por atrito das placas de vidro já produzidas.

Essa água, com o resíduo de vidro do processo de lapidação e polimento, escoar por canais até chegarem em *bag's*. Esses contentores armazenam todo esse material canalizado do processo do vidro, deixando a água escoar, concentrado apenas o resíduo do vidro temperado. Esse resíduo, compactado nos *bag's* e seco posteriormente, forma um aglomerado de pó de vidro temperado, que até então, não possui destinação produtiva, sendo descartado pela empresa conforme as diretrizes ambientais.



Figura 8 – Aglomerado de resíduo de vidro do processo de lapidação e polimento do vidro temperado.

Fonte: Autor (2022).

Logo, como o vidro é um material que pode ser totalmente reciclado, ele não possui limites de ciclos de reciclagem (BNDES, 2007). Portanto, a reciclagem do vidro reduz o consumo de energia e matérias-primas extraídas da natureza para sua

fabricação, além de contribuir para limpeza urbana e a redução de volume de sólidos em aterros sanitários e lixões.

2.3.2 Talco de pedra sabão

O esteatito, denominada comercialmente de pedra sabão, é uma rocha metamórfica de baixa dureza, composta em sua grande parte do mineral talco (SANTOS, SOUSA e LIMA, 2009). Essa rocha ornamental é amplamente utilizada na região de Ouro Preto – MG para a confecção de painéis, artesanatos e diversos objetos. De acordo com Santos (2009), a rocha ornamental pedra sabão, ocorre numa variedade de ambientes geológicos, e comercialmente está sempre associada a uma série de minerais.

Como mencionado por Rodrigues (2010), as características físicas da pedra sabão são praticamente impenetráveis, pois ela não é afetada por substâncias alcalinas ou ácidas, além de resistir a temperaturas extremas, desde abaixo de 0 °C à cerca de 1000 °C. Um exemplo da aplicação de pedra sabão, é o revestimento do Cristo Redentor no Corcovado do Rio de Janeiro – RJ. Todo o revestimento externo do monumento é feito de placas de pedra sabão, suportando as intempéries ao longo dos anos (TASCA, RIZZO, *et al.*, 2017).

Composta essencialmente por talco, a pedra sabão pode se agregar magnesita e quartzo de cor verde ou acinzentada, em geral, de tonalidade clara. Esse tipo de rocha possui a característica de ser untuosa, dando uma sensação de oleosidade. Sendo essa característica, a responsável por sua denominação, pedra-sabão. Essa rocha saponácea é produto de reações ativadas por altas temperaturas e pressões. Segundo Santos (2009), o mineral talco, o serpentino e o esteatito natural podem ocorrer simultaneamente, dependendo da formação geológica. Desse modo, na região de Ouro Preto, há uma ocorrência de talco com serpentinito ou talco com esteatito natural.

Do mesmo modo, o mineral talco ocorre associado à pedra sabão. Ele é um mineral funcional, com grandes aplicações. Sua textura é lamelar e é apresentada

uma baixa dureza, sendo a menor na escala de Mohs. Como principais características, é possível citar a alta resistência ao choque térmico, leveza, baixo teor de umidade, alto poder de absorção de óleo e graxa e inércia química (RODRIGUES, 2010).

Dentro do estudo deste trabalho, utiliza-se o talco de pedra sabão proveniente da Indústria e Comércio São José LTDA, situada em Santa Rita de Ouro Preto – MG. Esse talco é originado a partir da moagem e trituração dos resíduos de pedra sabão, oriundos da produção de painéis e utensílios de cozinha, por parte da indústria.

A extração da pedra sabão ocorre no próprio distrito de Santa Rita de Ouro Preto – MG, sendo retirado em blocos. Esses blocos são beneficiados em chapadas, para o uso em escala industrial, principalmente o de fornos e lareiras. Os blocos de menor dimensão são utilizados para a produção das painéis e artesanatos em gerais. E com o resto desses blocos menores, produz-se o talco de pedra sabão. Apesar da aplicabilidade do talco em diversos setores, a Indústria e Comércio São José, que atualmente é a maior fabricante do Brasil de painéis e utensílios de cozinhas em pedra sabão, possui um alto estoque dos resíduos de sua produção, pois não há uma alta demanda.

Portanto, esse rejeito (Figura 9) não é utilizado e fica estocado nos pátios da indústria, aguardando uma destinação ou é vendido a um baixo preço para outros produtores menores, para uso como aditivo em processos industriais. Além disso, a preocupação é que o descarte indevido pode causar impactos ambientais.

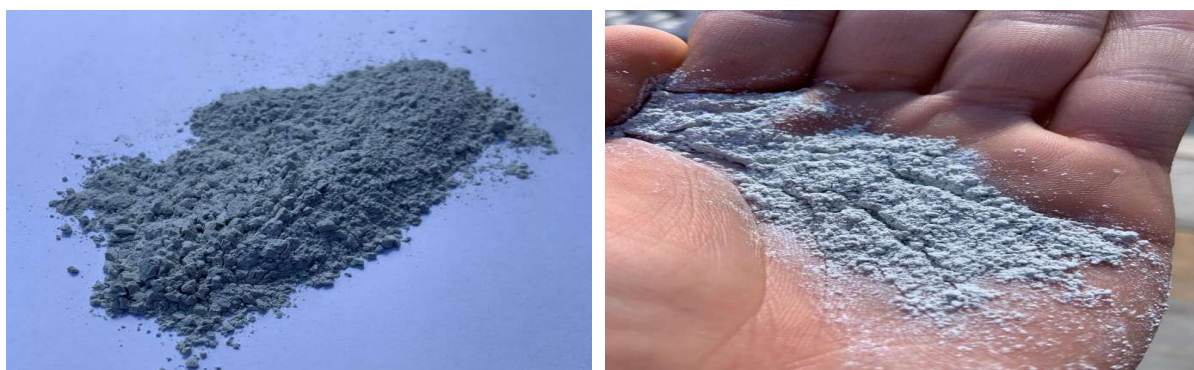


Figura 9 – Talco de pedra sabão da região de Ouro Preto – MG.

Fonte: Autor (2022).

Em suma, com as diversas características do talco de pedra sabão, é possível agregar valor em aplicações do setor de materiais de construção. Assim, com a redução da quantidade de resíduos, o que auxilia na minimização do impacto ambiental, é possível fomentar ainda mais a indústria de pedra sabão principalmente na região de Ouro Preto – MG.

2.4 Aplicação de resíduos em matrizes de resina epóxi

A ampla diversidade de novos materiais desenvolvidos e disponíveis, com aplicações para a engenharia, permitiu avançar os limites da construção. Os materiais compósitos têm ganhado destaque por permitir misturar dois ou mais materiais não solúveis, com propriedades e composições distintas, que se combinam para criar um novo material com as melhores características dentre os seus constituintes. Além disso, para essa composição funcionar é necessário que um dos materiais garanta a ligação, no caso a matriz, e outro material proporcione a resistência ou outra determinada característica desejada (MOREIRA, 2008).

Segundo Moreira (2008), a concepção desse tipo de material é milenar, pois existem referências escritas sobre a utilização de argila reforçada com palha em tijolos no Antigo Egito. Do mesmo modo, o concreto armado pode ser considerado um exemplo de material compósito, pois ele possui uma matriz de cimento Portland com agregados minerais e armadura de aço em sua constituição.

Por um lado, as matrizes de materiais poliméricos devem proporcionar coesão dos demais constituintes, a fim de garantir a proteção por meio do envolvimento, além de distribuir as cargas. Comumente, os materiais mais empregados como matriz em materiais compósitos são os polímeros, termoplásticos ou termofixos, metais, cerâmicas e o carbono.

Por outro lado, o reforço é o componente do material compósito que em grande parte é mais resistente do que a própria matriz. Contudo, o reforço visa melhorar propriedades desejadas, independentemente de sua resistência mecânica, podendo ter características que privilegiem resistência térmicas ou químicas, por exemplo.

Nesse sentido, segundo Moreira (2008), a eficiência dos materiais compósitos e suas inúmeras vantagens como, por exemplo, suas altas razões resistência/peso, excelente resistência à corrosão, baixa expansão térmica, bom comportamento à fadiga, facilidade de transporte, baixo consumo de energia no processo de fabricação e da estrutura em si, têm difundido o seu uso. Além disso, pelos motivos citados, há uma necessidade de se analisar de forma eficiente o seu complexo comportamento.

A resina epóxi apresenta um alto custo de aplicação, o que pode interferir no seu uso. Um estudo realizado por Filho (2017), concluiu que a utilização do porcelanato no revestimento de piso é mais econômica que a utilização de resina epóxi. Contudo, tem-se as limitações do uso do porcelanato para o uso industrial, por não garantir ou atender as exigências. Dessa forma, a empregabilidade de resíduos pode reduzir o custo de aplicação da resina epóxi em pisos de concreto, com a respectiva redução da quantidade de resina necessária.

Além disso, os resíduos possuem propriedades versáteis, podendo melhorar as características do revestimento. O pó de vidro, possui uma elevada rigidez e uma alta resistência abrasiva, propriedades desejadas em um revestimento. Já o talco de pedra-sabão, possui uma elevada resistência térmica e química, que são fatores almejados em um ambiente industrial (ANAPRE, 2022).

Logo, a aplicabilidade de resíduos em matrizes de resina epóxi pode aprimorar propriedades específicas, desejadas em um revestimento para pisos de concreto. Assim como, reduzir o custo de aplicação, e consequentemente, minimizar o impacto ambiental gerado pelos resíduos, reaproveitando de forma sustentável e aprimorando as resinas epóxi.

2.5 Avaliação de desempenho

De acordo com Rogers (1994), a avaliação de desempenho é o processo sistemático de coleta de dados, orientado por critérios pré-estabelecidos e conhecidos, o que permite a formação de um julgamento de valor baseado em

evidências. Assim, é evidente a necessidade da realização de ensaios experimentais para avaliar os efeitos do estudo.

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998), para cada tipo de RAD, há um valor mínimo para cada requisito de desempenho. Assim, é possível identificar na Figura 10 os valores correspondentes para cada tipo de revestimento. Observa-se que na linha superior há os números dos tipos de revestimentos, conforme apresentado na Figura 3. Portanto, como esse trabalho estuda o revestimento monolítico autonivelante, o número do tipo de revestimento a ser comparado, é o número 2.

Requisitos		Dimensão	01	02	03	04	05
Resistência ao impacto ¹⁾		mm	0,30	0,25	0,20	n.a.	4)
Resistência à abrasão ²⁾		mm	2,30	0,90	1,20	n.a.	
Resistência à abrasão ³⁾		mm	2,20	0,80	1,10		
Resistência à tração		MPa	6,5	8,5	n.a.	n.a.	
Resistência à compressão		MPa	45	40		n.a.	
Resistência à flexão		MPa	20		25	n.a.	
Resistência de aderência ¹⁾		MPa	2,5			3,0	
Aspecto superficial		Ver tabela 1					5)
Consistência			Seca	Fluida	Pintura	n.a.	4)
Poder de cobertura			n.a.	n.a.	n.a.	6)	n.a.
Absorção		%	1,0	0,3	0,25	0,2	6)
Sólidos por volume	Baixa espessura Alta espessura	%	n.a.			75,00 100,00	n.a.
Resistência à abrasão Taber ⁷⁾		g	n.a.			0,30	n.a.
Resistência química ⁸⁾		9)	Acordo entre fabricante e usuário				
NOTA - n.a. significa não aplicável.							
¹⁾ Valores relativos a substratos de concreto.							
²⁾ Valores segundo a NBR 12042.							
³⁾ Valores segundo o anexo A.							
⁴⁾ Para o tipo 05, monolítico decorativo, devem-se exigir os mesmos desempenhos mínimos conforme seja do tipo 01, 02 ou 03, levando-se em conta o efeito decorativo estabelecido por amostras e em comum acordo entre fabricante e projetista.							
⁵⁾ O efeito decorativo é conseguido pela adição de grânulos ou agregados minerais com formas, tamanhos e distribuição superficial as mais variadas.							
⁶⁾ Acordo prévio entre fabricante e usuário.							
⁷⁾ Características do ensaio: 1 000 ciclos, massa aplicada 1 000 g, rolo abrasivo CS-17 e nível de sucção 100%.							
⁸⁾ Em função da multiplicidade ou concentração de ácidos.							
⁹⁾ Verificação da alteração da cor e aspecto superficial, limites de variação de volume e massa, limites de variação da resistência à compressão.							

Figura 10 – Requisitos de desempenho mínimo por produto.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998).

Segundo MASSON, MECA, *et al.* (2017), a seleção de um piso adequado para determinada área industrial deve observar uma série de fatores determinantes, tais como processos produtivos, as características dos componentes de produção, condições e volume de tráfego, armazenagem, entre outros. Assim, evidencia-se a importância da realização de ensaios para a comprovação do atendimento as necessidades de um revestimento de piso de concreto, principalmente em um setor industrial.

2.6 Análise numérica

A rede Simplex-Lattice Designs (SLD) é utilizada em grande parte para estudar os efeitos dos componentes de uma mistura na variável de resposta, fornecendo uma distribuição igualmente espaçada de pontos sobre um espaço fatorial. De acordo com Scheffé (1958), o método é aplicado para experimentos com misturas, cuja propriedade estudada depende das proporções dos componentes presentes, mas não da quantidade da mistura.

Dessa forma, segundo American Journal of Engineering Research (2017) o método constrói um modelo apropriado que relaciona a resposta aos componentes de mistura, sendo que a mistura desenvolvida com base no princípio de que todos os componentes da mistura somam a unidade, tornando todos os componentes não independentes uns dos outros. No caso deste trabalho, com o método SLD é possível avaliar como a proporção dos resíduos e agregados afeta os comportamentos na matriz de resina epóxi.

Para proporções de misturas, a superfície de mistura na rede Simplex é modelada através de equações matemáticas. Assim, é possível determinar empiricamente a resposta para qualquer mistura com os produtos. Portanto, o sistema de coordenadas para proporções de mistura é um sistema de coordenadas Simplex e o seu método é usado quando temos 3 variáveis ou mais. Por exemplo, nesse caso foi utilizado como variáveis a quantidade de resina, catalisador, agregado, resíduo e pigmento. Além disso, a resposta desse experimento de mistura geralmente é descrita por uma função

polinomial, representando como os componentes da mistura afetam a resposta (AMERICAN JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH , 2017).

Nesse sentido, um arranjo ordenado consiste em uma distribuição uniformemente espaçada de pontos em um simplex, conhecido como lattice (SCHEFFÉ, 1958). Desse modo, segundo Scheffé (1958) um projeto de rede Simplex $\{q,m\}$ para componentes q , consiste em pontos definidos pelas seguintes configurações de ordenadas:

A proporção assumida por cada componente leva os valores $m+1$ igualmente espaçados de 0 a 1.

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, q$$

Além disso, Scheffé (1958) comenta que o espaço de projeto consiste em todas as combinações razoáveis de todos os valores para cada fator, m é geralmente chamado de grau de rede. Nessa perspectiva, a região experimental para uma mistura de três componentes (X_1, X_2 e X_3) definida por essa restrição, forma-se um triângulo regular (simplex) (Figura 11).

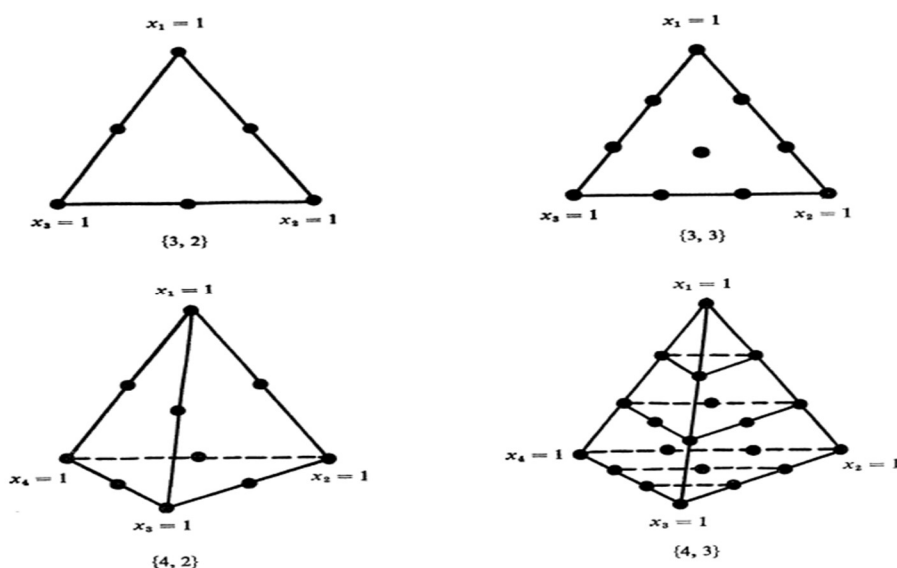


Figura 11 – Exemplos de $\{q,m\}$ lattices.

Fonte: Scheffé (1958).

Assim, é possível observar que o eixo para cada componente X_i se estende do vértice que ele rotula ($X_i = 1$) até o ponto médio do lado oposto do triângulo ($X_i = 0$). Como demonstrado na Figura 12, os vértices são representados através dos pontos 1, 3 e 5 (X_1, X_2 e X_3), e os pontos de interações são 2, 4 e 6 (X_1X_2, X_1X_3 e X_2X_3).

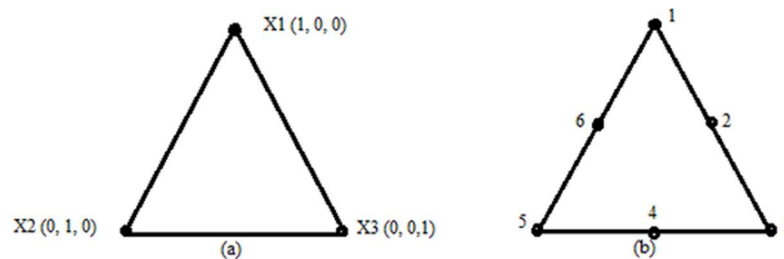


Figura 12 – Layout do projeto experimental para mistura de três componentes.

Fonte: American Journal of Engineering Research (2017).

Logo, para os três componentes, o polinômio linear para uma resposta Y é:

$$Y = b_0^* + b_1^*X_1 + b_2^*X_2 + b_3^*X_3 + e$$

Onde, b_i^* são restrições e e , os termos de erro aleatório. Assim, reformulando a equação:

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + e$$

Assim, essa equação é chamada de polinômio de mistura linear de Scheffe, para um polinômio quadrático. Agora, usando $b_0^* = (X_1 + X_2 + X_3)$, tem-se que:

$$Y = b_0^* + b_1^*X_1 + b_2^*X_2 + b_3^*X_3 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + e$$

Reformulando a equação anterior:

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + e$$

Assim, através da equação polinomial demonstrada anteriormente, é possível obter o resultado das misturas esperados para três componentes. Dessa forma, aumenta-se consecutivamente o valor de coeficientes na equação empregada conforme se aumenta a quantidade de componentes.

3 METODOLOGIA

A metodologia desse estudo visou a análise numérica dos valores obtidos por ensaios físicos a fim de avaliar o efeito da resistência mecânica nas propriedades das resinas epóxis. Dessa forma, utilizando-se das resinas já industrializadas, aplicou-se os resíduos em traços pré-determinados por um planejamento Simplex-Lattice. Esse planejamento buscou definir o melhor traço de substituição do agregado pelo resíduo, através da superfície de resposta, advindas dos valores numéricos resultantes dos ensaios. Assim, no fluxograma da Figura 13, foi apresentado um resumo da metodologia utilizada na pesquisa.

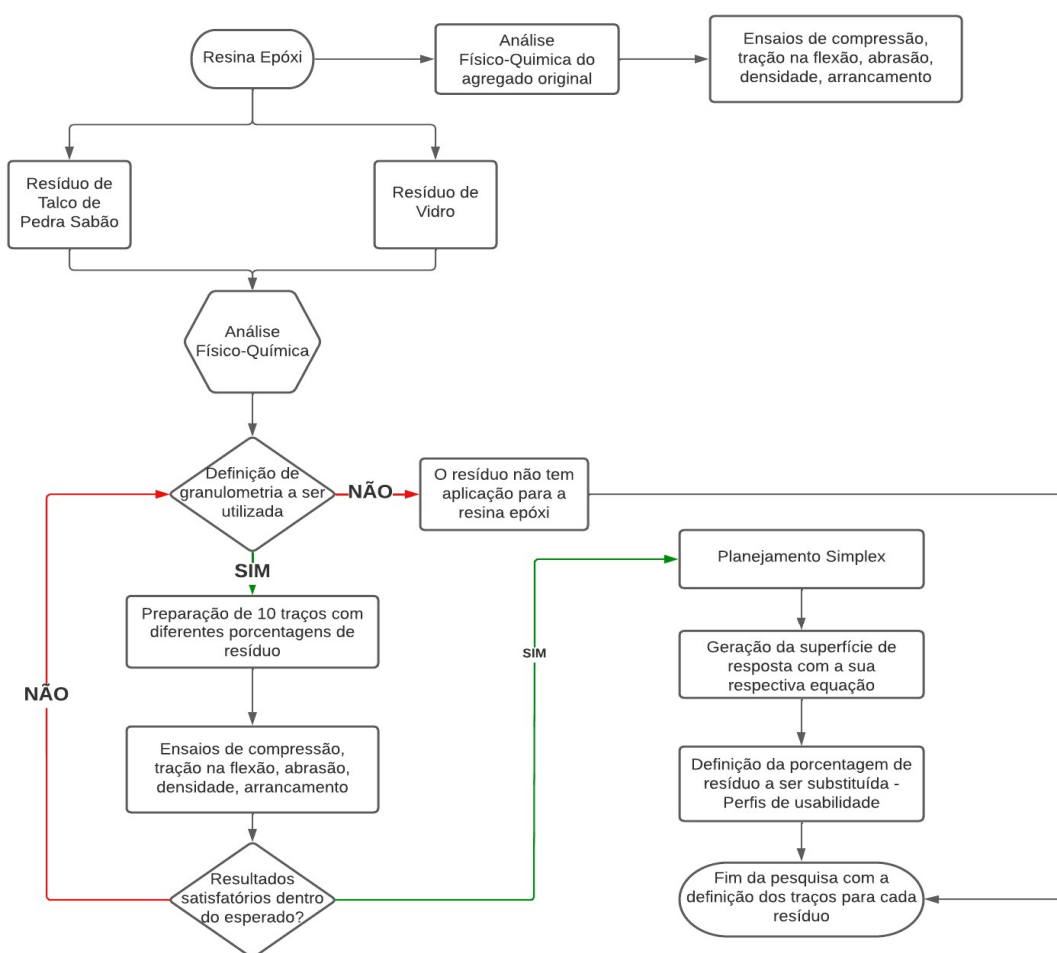


Figura 13 – Fluxograma da metodologia a ser adotada.

Fonte: Autor (2022).

3.1.1 Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionados do mercado já existente de revestimentos de pisos. Desse modo, utilizou-se de duas resinas, sendo uma de formulação internacional e outra nacional.

A primeira resina selecionada foi a de formulação internacional, o MasterTop 1230® da Master Builders Solutions. Segundo a própria fabricante, o produto é um revestimento epóxi de alto desempenho, autonivelante, que pode ser aplicado com espessura de 2,0 a 4,0 mm em substratos de concreto (novo ou danificado) (MASTER BUILDERS SOLUTIONS, 2022). O produto é constituído por quatro componentes, sendo o componente A a resina epóxi (MasterTop® A4), o componente B o catalisador (MasterTop® B4), o componente C o agregado (MasterTop® F2) e o componente D o pigmento (MasterTop® 1200 X4). Todos os componentes vêm na relação correta de mistura.

Por outro lado, a resina de formulação nacional é da Total Revestimentos Industriais. O Total Pox AN 2.5®, segundo a fabricante o produto é um revestimento tricomponente, a base de resina epóxi e carga mineral, de característica autonivelante. Produto que proporciona um revestimento de alto apelo estético além de proteção química e física (TOTAL REVESTIMENTOS INDUSTRIAIS, 2022). O produto é constituído por três componentes, sendo o componente A a resina epóxi, o componente B o catalisador e o componente C o agregado. Assim como o produto da MBS, todos os componentes vêm na relação correta de mistura.

Os resíduos empregados foram o talco de pedra sabão e o pó de vidro. O talco de pedra sabão veio ensacado e beneficiado da Indústria e Comércio São José. Conforme demonstrado na Figura 9, o resíduo apresenta ser um material pulverulento com um tom de cor próximo ao acinzentado. Já o resíduo de vidro veio em seu estado original do processo de fabricação do vidro temperado, sendo necessário o seu beneficiamento. Conforme demonstrado na Figura 8, o pó de vidro também demonstra ser um material pulverulento, contudo, o seu tom de cor se aproxima do branco.

3.1.2 Plano experimental

A fim de elaborar os traços conforme o planejamento Simplex-Lattice, foi preciso calcular o fracionamento dos componentes para a mistura da resina epóxi, considerando os seus componentes, assim como os agregados e resíduos estudados neste trabalho.

Inicialmente, por meio do programa Statistica 13 e dos traços sugeridos pelos fabricantes das resinas epóxi (Figura 14 e Figura 15), Master Builders Solutions (MBS) e Total Revestimentos Industriais, foram formulados os traços necessários para gerar os pontos da superfície pelo planejamento. As resinas utilizadas são: MasterTop 1230® da MBS e Total Pox AN 2.5® da Total Revestimentos Industriais.

Sistemas e Consumos

COMPONENTE DO SISTEMA		PRODUTO				Relação de Mistura ² (Resina: Carga)	Consumo
		MasterTop 1200 A4	MasterTop 1200 B4	MasterTop 1200 X4 ¹	MasterTop F2		
Primer	Padrão	5,4 kg	3,0 kg	-	4 kg	1:0,48	350 a 400 g/m ²
	MasterTop P203 ³	Primer bi-componente, pronto para uso. Consultar a ficha técnica do MasterTop® 2300 para maiores informações.					350 a 400 g/m ²
	Substratos ⁴ Irregulares	5,4 kg	3 kg	-	7 kg	1:0,83	950 a 1000 g/m ²
Capa	1,5 mm	5,4 kg	3 kg	1 frasco	8,0	1:0,96	1,2 a 1,3 kg/m ² /mm
	2,0 mm	5,4 kg	3 kg	1 frasco	11,6	1:1,38 ⁵	1,6 a 1,7 kg/m ² /mm
	4,0 mm	5,4 kg	3 kg	1 frasco	12,6	1:1,50 ⁵	1,6 a 1,7 kg/m ² /mm

¹Para cada kit de MasterTop® 1200A4 + MasterTop® 1200B4 usar um frasco completo de MasterTop® 1200X4, lembrando que dependendo da cor, a quantidade será diferente

²Partes em peso

³Primer bi-componente pronto para uso bastando apenas a mistura das duas partes. Indicado como alternativa ao primer padrão.

⁴Primer indicado no caso de substratos com elevada rugosidade

⁵Sem levar em consideração na quantidade de resina, a quantidade relativa ao pigmento

Figura 14 – Consumo de cada componente de acordo com a ficha técnica da fabricante MBS.

Fonte: Master Builders Solutions (2022).

Consumo

Espessura	TOTAL POX AN [®] 2500	TOTAL POX AN [®] 4000
2,50 mm	3,5 kg/m ²	-
4,00 mm	-	7,60 kg/m ²

Embalagens

Conjunto tricomponente:

TOTAL POX AN[®] 2500 15,00 kg;

TOTAL POX AN[®] 4000 20,00 Kg.

Figura 15 - Consumo geral de acordo com a ficha técnica da fabricante Total Revestimentos Industriais.

Fonte: Total Revestimentos Industriais (2022).

A Tabela 1 e Tabela 2 demonstram os pontos com os respectivos traços desenvolvidos com planejamento simplex por meio de *software*, para ambos os fabricantes.

Nº do plano de experimento	R/A	Resíduo (%)	Resina (kg)	Agregado (kg)	Agregado - Resíduo (kg)	Resíduo (kg)	Catalisador (kg)	Pigmento (kg)	Total (kg)
4	0,54	84	6,4	12,0	1,9	10,1	3,6	0,7	22,0
8	0,50	90	6,0	12,0	1,2	10,8	3,3	0,7	21,3
2	0,46	84	5,6	12,0	1,9	10,1	3,1	0,6	20,7
3	0,54	56	6,4	12,0	5,3	6,7	3,6	0,7	22,0
9 C	0,50	70	6,0	12,0	0,0	8,4	3,3	0,7	17,7
6	0,55	70	6,6	12,0	0,0	8,4	3,7	0,7	18,7
5	0,45	70	5,4	12,0	3,6	8,4	3,0	0,6	20,4
1	0,46	56	5,6	12,0	0,0	6,7	3,1	0,6	15,4
10 C	0,50	70	6,0	12,0	3,6	8,4	3,3	0,7	21,3
5	0,50	50	6,0	12,0	6,0	6,0	3,3	0,7	21,3
Controle (sem resíduo)		kg:	5,40	12,0	12,0	6,0	3,0	0,60	20,40

Tabela 1 – Plano de experimento para a resina da Master Builders Solutions.

Fonte: Autor (2022).

Nº do plano de experimento	R/A	Resíduo (%)	Resina (kg)	Agregado (kg)	Agregado - Resíduo (kg)	Resíduo (kg)	Catalisador (kg)	Total (kg)
4	0,54	84,00	4,70	8,70	1,40	7,30	1,90	15,3
8	0,50	90,00	4,40	8,70	0,90	7,80	1,70	14,8
2	0,46	84,00	4,00	8,70	1,40	7,30	1,60	14,3
3	0,54	56,00	4,70	8,70	3,80	4,90	1,90	15,3
9 C	0,50	70,00	4,40	8,70	0,00	6,10	1,70	12,2
6	0,55	70,00	4,80	8,70	0,00	6,10	1,90	12,8
5	0,45	70,00	3,90	8,70	2,60	6,10	1,60	14,2
1	0,46	56,00	4,00	8,70	0,00	4,90	1,60	10,5
10 C	0,50	70,00	4,40	8,70	2,60	6,10	1,70	14,8
5	0,50	50,00	4,40	8,70	4,40	4,30	1,70	14,8
Controle (sem resíduo)		kg:	4,507	8,7	8,7	0,0	1,793	15,00

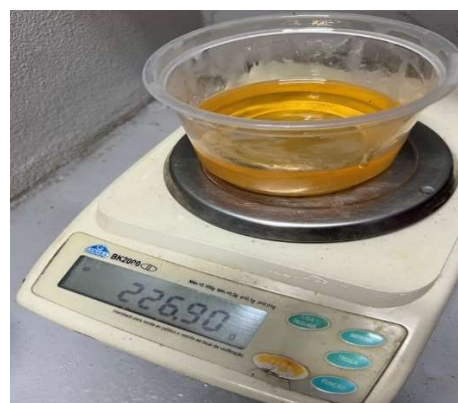
Tabela 2 – Plano de experimento para a resina da Total Revestimentos.

Fonte: Autor (2022).

Nessa perspectiva, através do programa Excel, calculou-se os fracionamentos do plano de experimento de forma a obter as quantidades de resina desejadas para realizar os ensaios deste trabalho.



(a)



(b)

Figura 16 – Fracionamento dos componentes para a misturas dos traços conforme planejamento Simplex. (a) Resina epóxi da MBS; (b) Catalisador da MBS.

Fonte: Autor (2022).

3.1.3 Beneficiamento dos resíduos

De forma a dispor dos resíduos analisados para o estudo, tem-se por necessidade realizar o beneficiamento do resíduo de vidro para aplicação nas matrizes de resina epóxi. Conforme apresentado na Figura 8, o resíduo gerado pela Divinal Vidros tem por característica estar aglomerado, assemelhando-se visualmente a uma rocha. Inicialmente, o resíduo de vidro foi cominuído em partes menores para facilitar o processo de secagem e moagem, diminuindo o tempo necessário para o beneficiamento. Para a cominuição, foi utilizado uma marreta para quebrar diretamente os blocos do resíduo (Figura 17).



Figura 17 – Trituração do resíduo de vidro fornecido pela Divinal Vidros.

Fonte: Autor (2022).

Após a trituração, colocou-se o resíduo em estufa à temperatura de 100°C durante o período de 24h para a secagem do material. Passado o período, retirou da estufa e o colocou em moinho de bolas horizontal e de baixa eficiência, para realizar a moagem do material até chegar na granulometria equivalente ao talco de pedra sabão (75µm). Assim, foi analisado a granulometria do resíduo de vidro em dois tempos de moagem, estabelecendo o tempo necessário para se chegar na granulometria desejada.

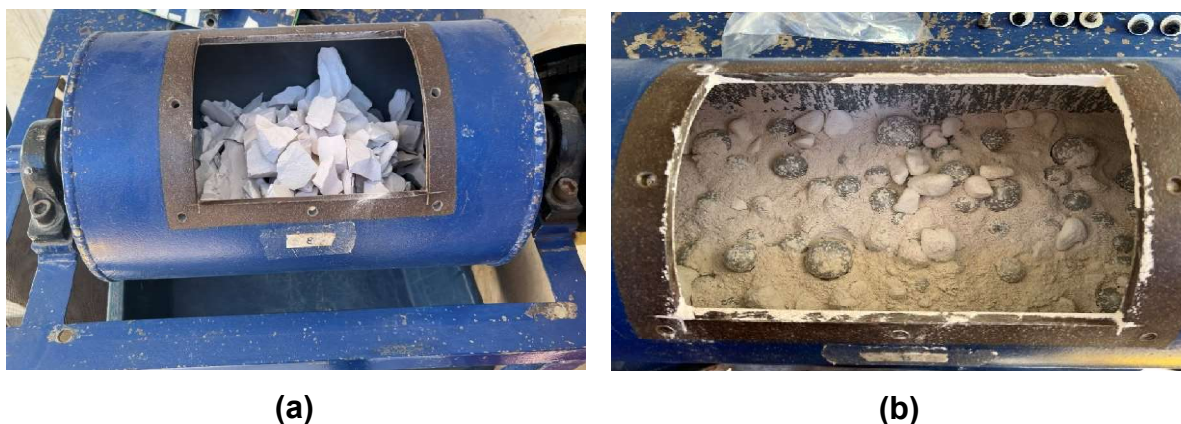


Figura 18 – Moagem do resíduo de vidro em um moinho bolha. (a) Material adicionado após ser triturado e seco; (b) Material moído após 30 min.

Fonte: Autor (2022).

As curvas granulométricas do resíduo de vidro referentes às moagens de 30 minutos e 1 hora não tiveram grandes discrepâncias. Desse modo, adotou-se como padrão a moagem de 30 minutos para o material, em que o D90 foi de 67,92µm.

3.1.4 FRX

O ensaio de fluorescência por raio X (FRX) é fundamental para quantificar o teor de elementos químicos em óxidos presentes nos materiais. Para a realização desse ensaio foi necessária a preparação do material. Assim, inicialmente foi necessário colocar o material a ser ensaiado em estufa com temperatura de 100°C por 24h, de forma a retirar toda a sua umidade.

Por conseguinte, realizou-se o peneiramento do material para que 90% do seu volume total passe na abertura da peneira de número 200 mesh (75µm). Caso o material não passasse nessa proporção desejada devido a sua granulometria, seria realizada a moagem dele até atingir a granulometria necessária, devido a quantidade mínima de material para a realização do ensaio ser de 10g (GRUPO ATIVE, 2022).

Em seguida, colocou-se o material no porta amostras, de forma a cobrir uniformemente o seu fundo. Assim, colocado o recipiente no equipamento PANalytical

Epsilon3x, realizou-se então o ensaio no Laboratório de Materiais de Construção - DECIV/UFOP.

3.1.5 DRX

O ensaio de difração de raios X (DRX) permite identificar e quantificar as fases minerais, sintéticas e amorfas em um material. Desse modo, é possível obter as informações relativas à composição mineralógica dos agregados e resíduos estudados por este trabalho.

Nessa perspectiva, ensaiou-se os dois agregados (MBS e Total Revestimentos) e os dois resíduos empregados neste estudo, de forma a descobrir a sua composição química. Assim, inicialmente foi necessário colocar o material em estufa com temperatura de 100°C por um período de 24h, de forma a retirar toda a sua umidade. Em seguida, realizou-se o peneiramento do material para que 90% do seu volume total passe na abertura da peneira de número 325 mesh (45µm). Caso o material não passasse nessa proporção desejada devido a sua granulometria, seria realizada a moagem dele até atingir a granulometria necessária, pois a quantidade mínima de material para a realização do ensaio ser de 10g (GRUPO ATIVE, 2022).

Por conseguinte, preparou-se a pastilha para a análise de DRX, preenchendo completamente o fundo de forma uniforme para que se tenha uma boa leitura durante o ensaio. O equipamento é o Bruker D2 Phaser de 2ª Geração, localizado no laboratório do NanoLab – DEMET/UFOP, tendo suas configurações ajustadas conforme a necessidade da realização do ensaio e as características do material.

3.1.6 MEV

O ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), tem por objetivo fornecer imagens em alta resolução para a análise da morfologia e composição dos materiais estudados. Desse modo, pode-se entender melhor a interação dos agregados e resíduos com a matriz de resina epóxi.

Assim como os ensaios citados anteriormente (DRX e FRX) é necessário a preparação da amostra para a realização do ensaio. Portanto, inicialmente é colocado o material a ser ensaio em uma estufa numa temperatura de 100°C por 24h, de forma a retirar toda a sua umidade. Uma pequena quantidade em pó é colada em um pedaço de fita de carbono. E com o material fixado, metaliza-se a amostra com ouro. Por conseguinte, realiza-se o ensaio no equipamento TESCAN VEGA 3 no laboratório do NanoLab – DEMET/UFOP, gerando imagens de alta resolução e com diferentes aproximações.

3.1.7 Ensaio de resistência à tração na flexão

O ensaio de tração na flexão visa mensurar quais são os limites do material quando submetidos à forças de tração. Com isso, é possível conhecer quais as tensões admissíveis, a deformabilidade do material, além do seu comportamento quando são aplicados esforços.

Foram moldados corpos de prova prismáticos (40x40x160mm) para o ensaio de resistência à tração na flexão e, em seguida, submetidas as partes obtidas ao ensaio de resistência à compressão. A Figura 19 demonstra os moldes metálicos utilizados para moldar os traços de resina epóxi para os ensaios, considerando que cada molde tem a capacidade de fazer 3 corpos de prova por vez.



Figura 19 – Molde metálico 40x40x160 mm.

Fonte: Autor (2022).

A Figura 20 demonstra o modo como foi realizado a moldagem das resinas epóxi. Como a resina é altamente aderente, aplicou-se desmoldante no molde metálico para que a resina epóxi não grude e possa sair com maior facilidade. Respeitado o tempo de cura do material de 7 dias em condições ambientes de temperatura e pressão, os CP's foram retirados para posterior realização dos ensaios.



(a)



(b)

Figura 20 – (a) Molde metálico com a resina epóxi; (b) Corpos de prova retirados do molde após o tempo de cura.

Fonte: Autor (2022).

Após a moldagem dos CP's, eles foram devidamente medidos e marcados para a realização dos ensaios. Assim, com o CP já preparado e respeitado o tempo de cura da resina, deu-se início na realização do ensaio. O ensaio de tração na flexão foi realizado em uma prensa servo-controlada universal – EMIC DL20000/PC200 com capacidade para esforços de até 200 toneladas (Figura 21).



Figura 21 – Prensa servo-controlada universal – EMIC DL20000/PC200 do LMC/UFOP.

Fonte: Autor (2022).

O ensaio consiste em aplicar uma carga crescente em determinados pontos do CP moldado. Desse modo, durante a realização do ensaio, o sistema da prensa monitora as cargas que estão sendo aplicadas e qual a deflexão do CP. Assim, o acréscimo de carga continua até o rompimento do CP ou até que ele apresente uma deformação acima de 5%. Os valores obtidos inicialmente são os valores correspondentes ao ensaio de resistência à tração na flexão. A Figura 22 representa a posição do CP na prensa servo-controlada universal para a realização do ensaio.



Figura 22 – Ensaio de tração na flexão com 3 pontos realizado na prensa servo-controlada universal no LMC/UFOP.

Fonte: Autor (2022).

Nesse sentido, com o valor obtido do ensaio de flexão, utilizou-se a fórmula demonstrada a seguir para calcular qual é o valor resultante da resistência à tração na flexão.

$$f_{ct,f} = \frac{F \times l}{b \times d^2}$$

Onde:

- $f_{ct,f}$ é a tensão de tração resultante do esforço de flexão obtido pelo ensaio;
- F é o valor do esforço de flexão obtido pelo ensaio;
- l é a distância entre os apoios do corpo de prova, no caso, 80 mm;
- b é a largura do corpo de prova, no caso, 40 mm;
- d é a altura do corpo de prova, no caso, 40 mm;

Com a conversão realizada, obtém-se então o valor da resistência à tração do material, através do ensaio de flexão. Esse ensaio é detalhado e especificado através da NBR12.142:2010 – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

3.1.8 Ensaio de resistência à compressão

Um dos principais ensaios para a avaliação das propriedades em uma resina epóxi é o ensaio de resistência à compressão. Assim como o concreto, a resistência à compressão avalia o comportamento do material quando submetido a forças de compressão, além de avaliar qual a tensão admissível e a deformabilidade característica (ESTACECHEN e CECILIO, 2020). Sendo assim, é de grande valia o ensaio de resistência à compressão para determinar os máximos esforços suportados pelos traços gerados neste trabalho.

Nessa perspectiva, realiza-se o ensaio colocando o CP cúbico, de 40 mm de aresta, na prensa hidráulica universal. O ensaio de compressão consiste na aplicação uniaxial de carga compressiva no CP. Os resultados obtidos nesse ensaio resultam na relação entre a deformação linear, obtida pela medida da distância entre as placas

que comprimem o corpo de prova, em função da carga de compressão aplicada em cada instante (ESTACECHEN e CECILIO, 2020).

Com a realização do ensaio, obtém-se o valor correspondente da resistência à compressão do CP, informando detalhadamente o valor da carga de ruptura e a taxa de incremento de força.

3.1.9 Ensaio de consistência

O ensaio de consistência tem por objetivo avaliar a consistência do material. Como a resina é utilizada como revestimento de pisos de concreto, é fundamental que ela apresente características autonivelantes, a fim de facilitar a sua aplicação.

No desenvolvimento deste trabalho foi realizado um ensaio de consistência por traço do planejamento simplex utilizando a mesa para índice de consistência manual da Contenco. Após a mistura da resina epóxi com seus respectivos agregados e resíduos, adicionou-se a mistura no molde tronco cônico (125x80x65mm) com desmoldante aplicado em seu interior e na mesa de consistência, para impedir a sua aderência. Do mesmo modo, tendo preenchido o molde tronco cônico com a mistura até a borda superior, puxou-se verticalmente o molde de forma a soltar toda a mistura em seu interior, espalhando-a na mesa de consistência (Figura 23).



Figura 23 – Ensaio de consistência com a resina epóxi.

Fonte: Autor (2022).

Após o espalhamento da mistura, em um período de 30 a 40 segundos, mediu-se com uma régua a abertura que a resina epóxi apresentou na mesa de consistência (Figura 24). Para fins de certificação, foi realizado a medida em três eixos diferentes, obtendo assim a média dos valores como resultado adotado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).



Figura 24 – Medição a abertura da resina com a régua.

Fonte: Autor (2022).

3.1.10 Ensaio de resistência à abrasão

O ensaio de resistência à abrasão tem por objetivo avaliar o desgaste gerado na superfície do material avaliado devido à fricção com algum componente. O processo de abrasão é avaliado através da taxa de desgaste superficial, normalmente calculada pela diferença entre a massa inicial e final do material analisado.

Para a realização do ensaio, foram moldadas 42 placas de graute, para analisar os dez pontos por fabricante de resina epóxi, sendo que cada resina foi testada com dois tipos de resíduos diferentes, além dos dois traços originais dos fabricantes., com dimensões de 30x30 cm e 3 cm de espessura. Os moldes foram construídos com madeira Pinus para a produção dessas placas (Figura 25).



Figura 25 – Molde de madeira Pinus nas dimensões de 30x30 cm.

Fonte: Autor (2022).

Com o molde pronto, foi adicionado o graute com a proporção adequada de água e tempo de mistura, conforme informado pelo fabricante. Para este trabalho, o graute utilizado foi o Supergraute Quartzolit. De acordo com o fabricante, a resistência à compressão às 24 horas é de 25 MPa, valor mínimo necessário para aplicação do revestimento epóxi conforme NBR14.050 (1998). A Figura 26 demonstra as placas de graute moldadas em moldes de madeira Pinus e sua respectiva espessura utilizada.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 26 – (a) Aplicação de graute nos moldes de madeira; (b) Espessura das placas de graute; (c) (d) Placas de graute de 30x30cm desformadas e prontas para aplicação do revestimento.

Fonte: Autor (2022).

Após a cura das placas, foram aplicados os revestimentos com os respectivos traços definidos pelo planejamento SLD. Assim, seguindo o método de aplicação (Revestimento monolítico autonivelante), aplicou-se os revestimentos de acordo com os traços definidos pelo planejamento SLD, conforme demonstrado na Figura 27.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 27 – (a) Placas de graute primer; (b) Aplicação do revestimento epóxi com o rolo fura-bolha; (c)(d) Placas com a aplicação do revestimento monolítico autonivelante de traços definidos pelo planejamento simplex.

Fonte: Autor (2022).

Nessa perspectiva, com os revestimentos aplicados nas placas e respeitado o tempo de cura final de 7 dias, cortou-se as placas de forma para retirada amostras para o ensaio de resistência à abrasão. As amostras retiradas têm dimensão de 7x7 cm, sendo retiradas das extremidades das placas com o auxílio de uma serra mármore Makita® com disco diamantado segmentado.

Na Figura 28 é possível visualizar as amostras retiradas das placas. Com o total de traços reproduzidos para o experimento, obteve-se o mesmo valor de amostras (42). Assim, com as amostras definidas, realizou-se então o ensaio baseado na Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998).



Figura 28 – Amostras dos traços definidos pelo planejamento SLD para a realização do ensaio de resistência à abrasão.

Fonte: Autor (2022).

Para a realização deste trabalho não há a disponibilidade do equipamento recomendado pela norma, então foi realizada uma adaptação a fim de se obter os mesmos resultados. Com isso, utilizou-se uma furadeira de bancada MFB 16 da marca Menegotti, como equipamento rotativo para prover os ciclos de desgaste. Com o objetivo de se aproximar do ensaio recomendado pela norma, a furadeira funciona com a rotação em 350 rpm, atingindo 1050 ciclos em 3 minutos.

Para simular o desgaste, a furadeira está acoplada com uma base de disco com velcro, para colar a lixa. Assim, a lixa utilizada foi a de ferro de número 220, com formato circular e diâmetro de 5 cm. Desse modo, centraliza-se a lixa no meio da amostra e se inicia o ensaio. Com o intuito de se fixar um peso durante o ensaio, simulando o peso de um veículo, por exemplo, aplicou-se um peso de 1,4kg no braço da furadeira, de forma a pressioná-la na amostra.



Figura 29 – Furadeira de bancada utilizada para a realização do ensaio.

Fonte: Autor (2022).

Logo, com o ensaio realizado, foi possível determinar a diferença de massa através de uma balança mecânica Gehaka BK2000, com capacidade de 2,1kg. Assim, obteve-se a perda de massa por abrasão, o que permitiu comparar os valores dos traços definidos no SLD com o traço original.

3.1.11 Ensaio de resistência de aderência à tração

O ensaio de resistência de aderência à tração tem por objetivo avaliar a interação entre as camadas constituintes do revestimento (concreto/revestimento). Desse modo é possível determinar o valor máximo de tensão de aderência suportada. Essa análise é fundamental para avaliar a aderência do revestimento ao substrato, prevenindo patologias como, por exemplo, o deslocamento. Além disso, através do corpo de prova retirado é possível avaliar a espessura do revestimento aplicado.

Para a realização do ensaio, foram utilizadas das mesmas placas mencionadas no tópico anterior (Ensaio de resistência à abrasão). Portanto, com as placas moldadas com graute e o devidos revestimentos aplicados, fez-se furos na placa com uma serra copo diamantado com diâmetro de 50mm na placa. Ao todo se executa

cinco furos por placa, conforme especificado na NBR14.050 (1998), sendo que todos os furos possuem espaçamento previamente definidos (Figura 30).

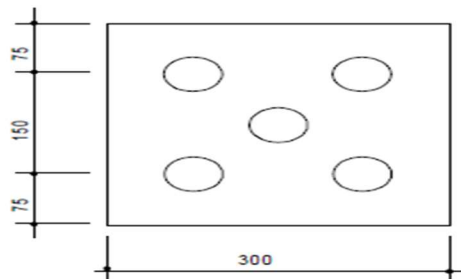


Figura 30 – Espaçamento mínimo entre furos.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Segundo a NBR14.050 (1998), o furo na placa deve ultrapassar o revestimento, ficando pelo menos 2 cm abaixo no nível superior do substrato, de forma a permitir que durante o ensaio, haja a possibilidade de rompimento em qualquer superfície de interação. Após a realização dos furos e a limpeza da placa, fez-se o lixamento da região a ser colada as pastilhas circulares para posteriormente serem coladas com cola epóxi. No caso, a cola epóxi utilizada é a Sikadur® de média fluidez, aguardando a sua cura de 24h.



(a)



(b)

Figura 31 – (a) Placa com revestimento monolítico autonivelante epóxi com os furos para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração; (b) Pastilhas circulares coladas nos furos com Sikadur® para o ensaio.

Fonte: Autor (2022).

Com a cura da cola epóxi devidamente respeitada, utilizou-se do dinamômetro de tração da Solotest com capacidade de 1500 kgf. Com as pastilhas circulares coladas na placa, acoplou-se o dinamômetro nas pastilhas para realizar a calibração inicial do aparelho. Em seguida, iniciou-se o experimento rodando a manivela de forma a aplicar uma força de tração ao furo na placa, até que a superfície mais frágil da composição rompa. Com a ruptura, o dinamômetro registra o pico de maior valor da força aplicada. Dessa forma, anotou-se o valor de pico da força e a interface de ruptura, podendo estimar a porcentagem de cada superfície rompida, caso não tenha ocorrido de forma uniforme. A Figura 32 demonstra os exemplos citados anteriormente.



(a)



(b)

Figura 32 – (a) Dinamômetro de tração acoplado em pastilhas circulares para a realização do ensaio na placa com revestimento; (b) Pastilhas circulares após a ruptura no ensaio, demonstrando a superfície rompida.

Fonte: Autor (2022).

Com o valor da força necessária para a ruptura da superfície e a área da seção circular, é possível calcular a tensão de aderência do revestimento. Pela fórmula demonstrada a seguir, tem-se a tensão de aderência em MPa:

$$\tau = \frac{F}{A} \times \frac{g}{100}$$

Onde,

- τ é a tensão de aderência, em MPa.
- F é a força de ruptura obtida pelo dinamômetro de tração, em kfg;
- A é a área da seção circular da pastilha circular, em cm²;
- g é a aceleração da gravidade, em m/s²

Com isso, obtém-se o valor da tensão de aderência do revestimento, avaliando o atendimento dos valores aos padrões da NBR14.050 (1998).

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização

O estudo analisou a empregabilidade de resíduos em matrizes de resina epóxi. Dessa forma, é fundamental o conhecimento de sua composição química, mineralógica e morfológica tanto para os agregados quanto para os resíduos.

4.1.1 Análise Granulométrica

Inicialmente, avaliou-se os agregados originais das fabricantes, sendo que a Figura 33 representa a curva granulométrica do agregado da MBS e a Figura 34 representa a curva granulométrica do agregado da Total Revestimentos.

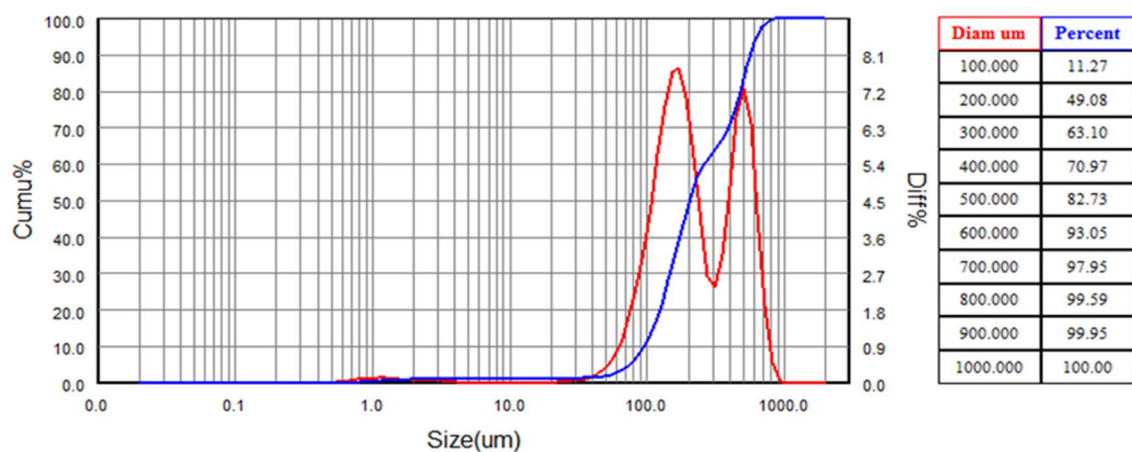


Figura 33 – Curva granulométrica do agregado da Master Builders Solutions.

Fonte: Autor (2022).

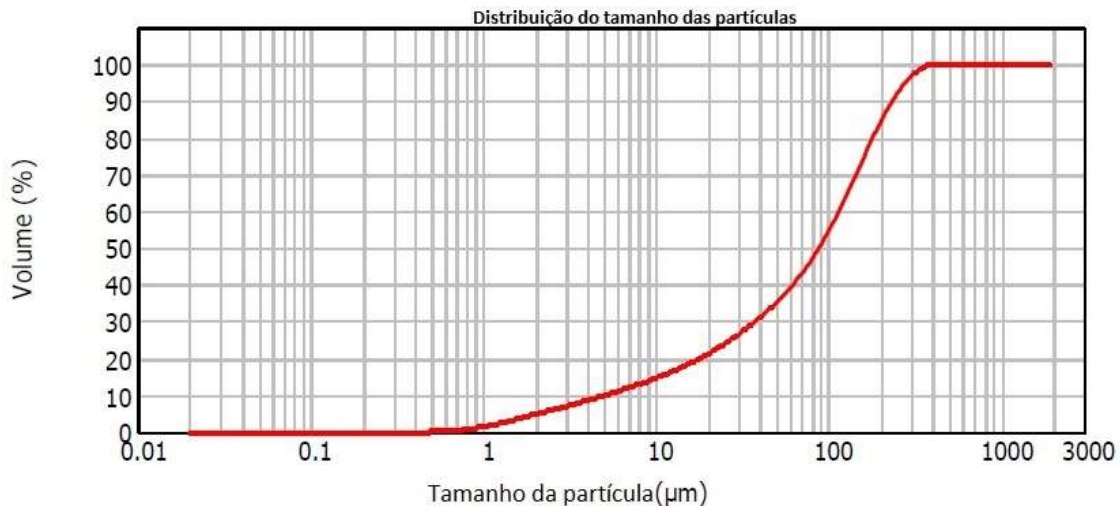


Figura 34 – Curva granulométrica do agregado da Total Revestimentos.

Fonte: Autor (2022).

Nesse sentido, como demonstrado na Figura 33, a curva granulométrica do agregado da MBS possui características diferentes das demais curvas apresentadas nesta seção. Ela apresenta dois picos bem definidos, demonstrando duas faixas granulométricas em aproximadamente 80μm e 500μm. Sendo que o D90 dessa curva foi de 567,40μm, aproximando-se de uma peneira Mesh de número 30. Desse modo, o agregado da MBS possui grãos maiores com uma mistura entre duas granulometrias.

Já a Figura 34, que demonstra a curva granulométrica do agregado da Total Revestimentos, possui características mais uniformes quanto a distribuição granulométrica. Os seus grãos variaram de 1μm à aproximadamente 350μm. Assim, o D90 foi de 230,87μm, o que se aproximou de uma peneira Mesh de número 60. Assim, quando comparado aos agregados da MBS, percebeu-se que seus grãos são menores e mais distribuídos granulometricamente, sendo que essas características podem influenciar no desempenho das resinas.

Agora, a fim de comparar os resíduos, tem-se nas Figura 35 e Figura 36 as curvas granulométricas do resíduo pó de vidro e do resíduo talco de pedra-sabão, respectivamente.

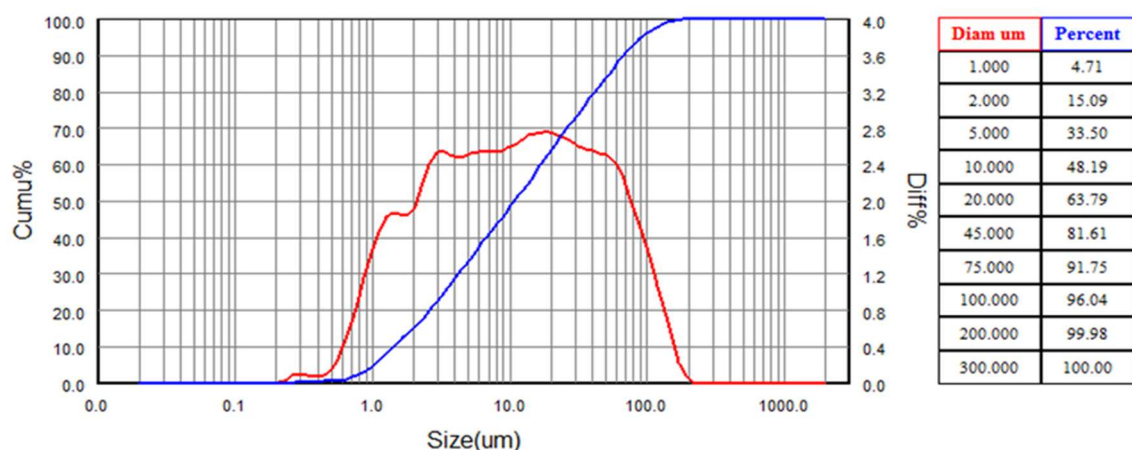


Figura 35 – Curva granulométrica do pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

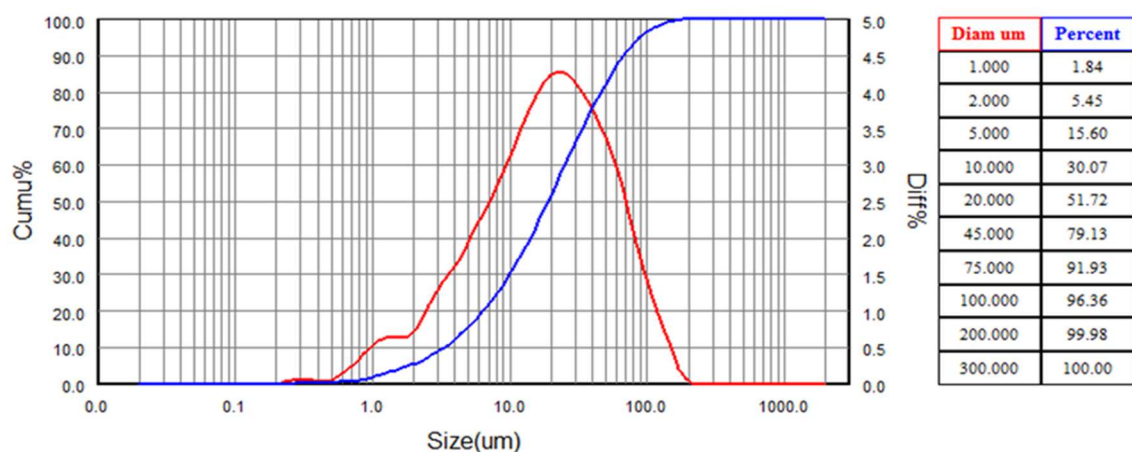


Figura 36 – Curva granulométrica do talco de pedra-sabão.

Fonte: Autor (2022).

Assim, na Figura 35 foi possível analisar a curva granulométrica do pó de vidro após 30 minutos de moagem. O D90 dessa curva foi igual a 67,92µm, o que se aproximou de uma peneira Mesh de número 200. Aparentemente, a distribuição do pó de vidro apresentou uma distribuição mais uniforme, com grãos variando de 1µm à 100µm, quase que na mesma proporção.

Já a Figura 36, diferentemente da curva anterior, apresenta uma granulometria mais concentrada, com uma maior quantidade de grãos com um tamanho de 11µm a

12µm. Porém, os grãos também variaram de 1µm à 100µm, sendo que o seu D90 foi igual a 68,10µm, bem próximo ao valor do pó de vidro e de uma peneira Mesh de número 200. ´

Desse modo, foi possível perceber a semelhança entre os resíduos quanto a granulometria, sendo o D90 igual a 67,92µm e 68,10µm respectivamente para o pó de vidro e talco de pedra sabão. Assim, quando comparado a granulometria dos resíduos com os agregados, percebeu-se que os resíduos apresentaram uma granulometria mais definida e com grãos de menor tamanho.

4.1.2 FRX

Através da análise de fluorescência de raios X foi possível identificar os elementos químicos presentes nos agregados e resíduos estudados por este trabalho. Desse modo, a Tabela 3 apresenta os principais elementos químicos de cada material trabalhado.

Óxidos	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ZnO	Na ₂ O	Outros (*<1%)
Talco de Pedra Sabão	35,03%	2,30%	43,26%	-	-	12,04%	-	-	6,54%	-	-	0,83%
Pó de Vidro	2,26%	1,30%	67,06%	-	-	8,71%	-	-	-	-	19,26%	1,41%
Agregado MBS	-	21,70%	44,93%	5,10%	1,06%	12,10%	1,19%	1,26%	10,28%	1,66%	-	0,74%
Agregado Total	-	2,16%	97,06%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77%

Tabela 3 – FRX dos agregados e resíduos estudados.

Fonte: Autor (2022).

Pela Tabela 3, o talco de pedra sabão apresentou um alto teor de óxido de magnésio (MgO) e óxido de silício (SiO₂), representando respectivamente 35,026% e 43,264% da totalidade do material. Esses valores confirmam Rodrigues (2010), que

segundo o autor o talco de pedra sabão podem se caracterizar pela magnesita e quartzo. O valor correspondente ao óxido de cálcio (CaO) igual a 12,038% pode ter relação a dolomita (CaCO₃) encontrada junto a pedra-sabão na região de Santa Rita de Ouro Preto, o que também foi justificado por Rodrigues (2010).

Pela mesma tabela, o pó de vidro apresentou em sua composição maiores teores de óxido de silício (SiO₂) e óxido de sódio (Na₂O), com valores de 67,058% e 19,262% respectivamente. O alto valor de sílica é justificado pela composição do próprio vidro, conforme especificado pela própria Divinal Vidros (2018). A fabricante também comenta sobre a utilização da barrilha (Na₂CO₃), ou carbonato de sódio, para composição dos vidros temperados, o que explica um maior teor de óxido de sódio.

Por conseguinte, o agregado da Master Builder Solutions apresentou uma quantidade mais equilibrada de materiais. O maior teor é do óxido de silício (SiO₂), representando 44,926% do total. Em seguida, com teor mais representativo, tem o óxido de alumínio (Al₂O₃) com 21,704%, o óxido de cálcio (CaO) com 12,095% e o óxido férrico (Fe₂O₃) com 10,283%. O maior teor de sílica pode ser justificado pelo quartzo presente no agregado, o que é demonstrado visualmente como uma areia. A presença de alumínio e ferro talvez pode ser justificado para proporcionar maior resistência mecânica a matriz de resina epóxi. Já o óxido de cálcio por vez pode ser justificado pela região de extração do agregado.

Por fim, o agregado da Total Revestimentos Industriais apresentou quase que a predominância de um único material. Esse material é caracterizado pelo óxido de silício (SiO₂), que representa 97,064% do material. Esse número pode ser explicado ao quartzo, que aparentemente é o único material utilizado como agregado para a fabricante. Os demais componentes, que apresentaram baixos teores, podem ser justificados a origem mineralógica do agregado ou a região de extração.

4.1.3 DRX

Os difratogramas dos agregados e resíduos utilizados no trabalho foram reunidos na Figura 38. As duas primeiras curvas se referem aos agregados da MBS e da Total e possuem picos característicos bastante similares, o que se enquadra em materiais com características bem cristalinas. Assim, o agregado de MBS apesar de ter uma composição química (mostrado no resultado de FRX) mais variada em relação ao agregado da Total, os picos de maior intensidade encontrados são referentes à picos de Quartzo (SiO_2), identificado na figura pela letra Q. Sendo assim, os outros elementos encontrados no FRX podem estar em sua forma amorfa. Para o agregado da Total, todos os picos identificados se referem ao Quartzo (SiO_2).

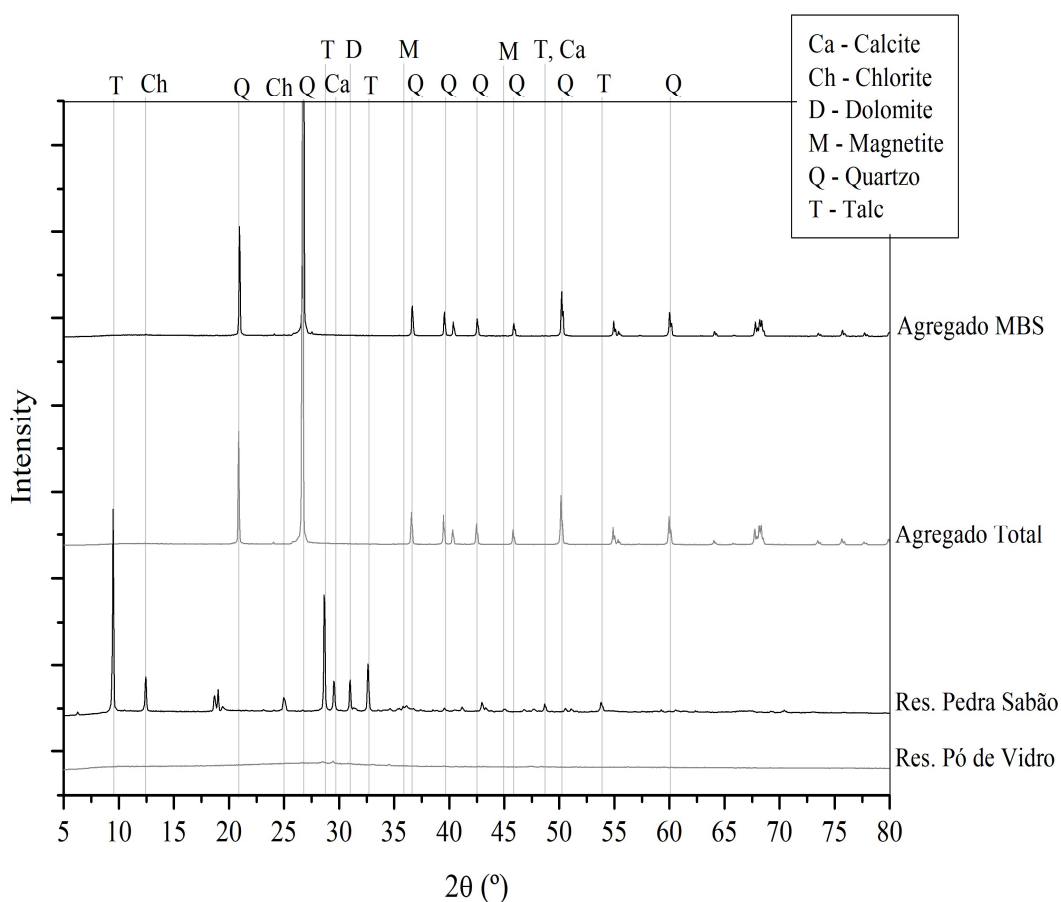


Figura 37 – DRX dos agregados e resíduos deste trabalho.

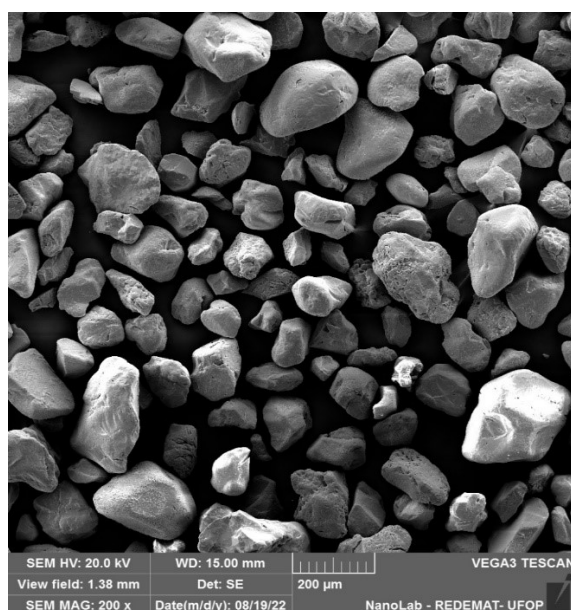
Fonte: Autor (2022).

Quanto ao difratograma do resíduo de pedra sabão, percebe-se a presença de muitos picos entre 10 e 55°. Dentre eles foram identificados picos referentes às fases cristalinas de calcita (CaCO_3), clorita ($(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), magnetita (Fe_3O_4) e talco ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$). Os picos foram identificados no difratograma com letras referentes a cada fase. Essas fases são condizentes com outras pesquisas encontradas na literatura em que tem a pedra sabão como material. No trabalho de Rodrigues e Lima (2012), em que utilizam a pedra sabão da Região de Ouro Preto, também encontraram os picos de talco, chlorite e dolomite. Já Cota *et al* (2018) encontram somente picos de talco e chlorite. Lukkonen *et al.* (2019) empregando o mesmo tipo de rocha, de localização diferente, encontraram as fases: talco, clinocllore, dolomite, magnesita e magnetita.

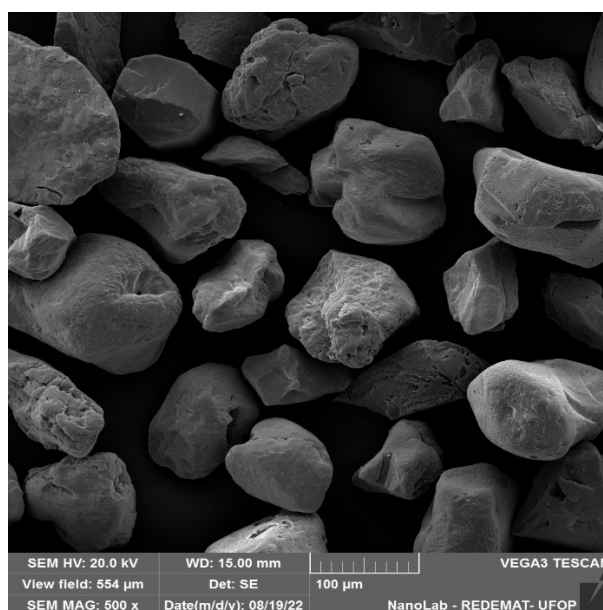
Além disso, o difratograma do resíduo de vidro apresenta um halo amorfo, característico de materiais com ausência de picos referentes às fases cristalinas. Condizente com a literatura em que utilizam o vidro como material, como o tratado por Francis *et al.* (2004) em um trabalho sobre a cinética da cristalização de partículas de vidro, onde o difratograma também apresenta um halo amorfo.

4.1.4 MEV

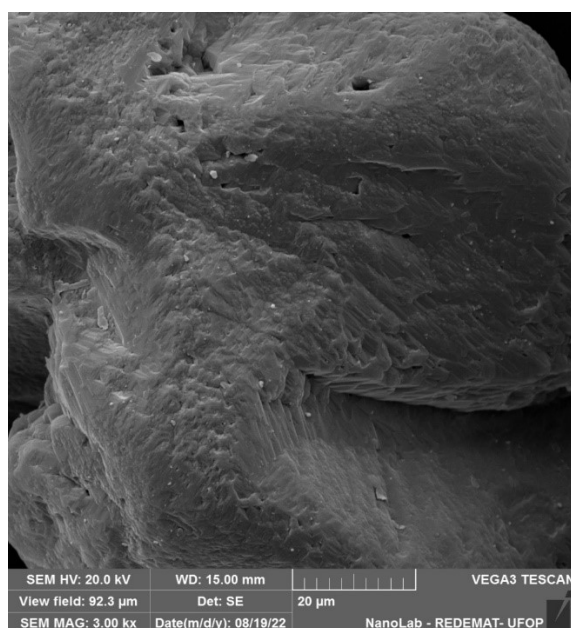
O ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) colaborou na identificação da morfologia dos agregados e resíduos estudados. Na Figura 38 foi apresentado as imagens de MEV referente ao agregado da MBS. Já a Figura 39, demonstrou as imagens de MEV do agregado da Total Revestimentos.



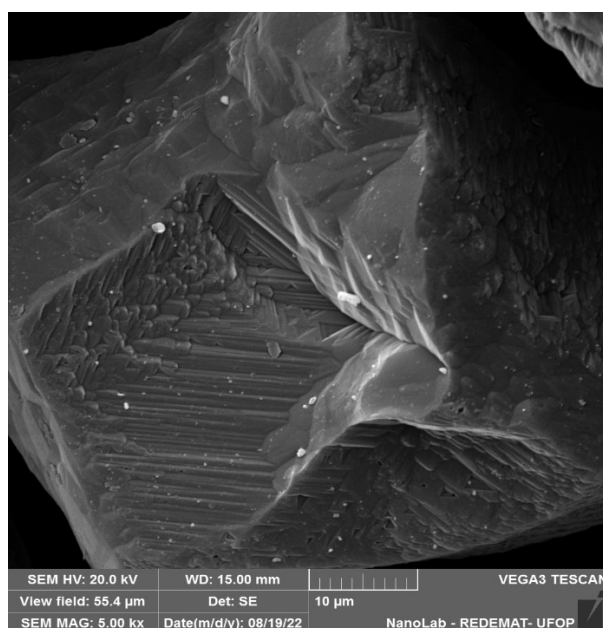
(a)



(b)



(c)

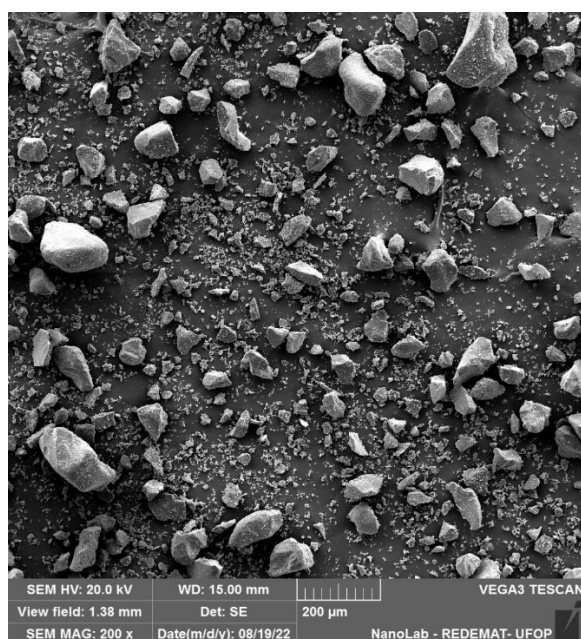


(d)

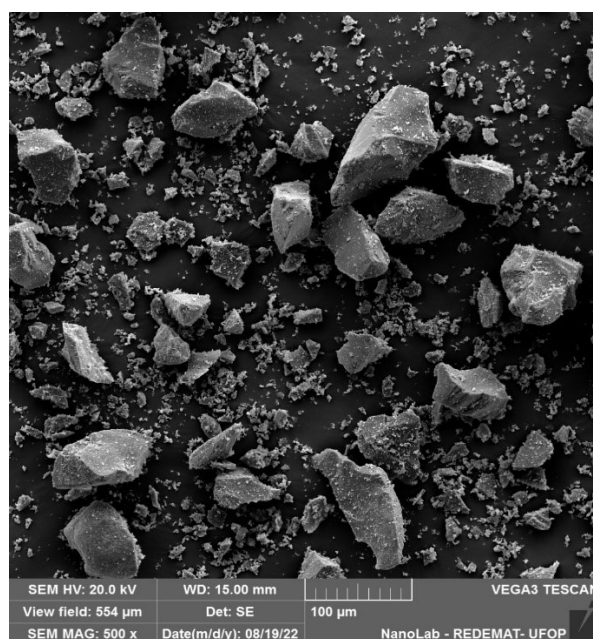
Figura 38 – MEV do agregado da MBS. (a) Ampliação de 200 vezes; (b) Ampliação de 500 vezes; (c) Ampliação de 2000 vezes; (d) Ampliação de 5000 vezes.

Fonte: Autor (2022).

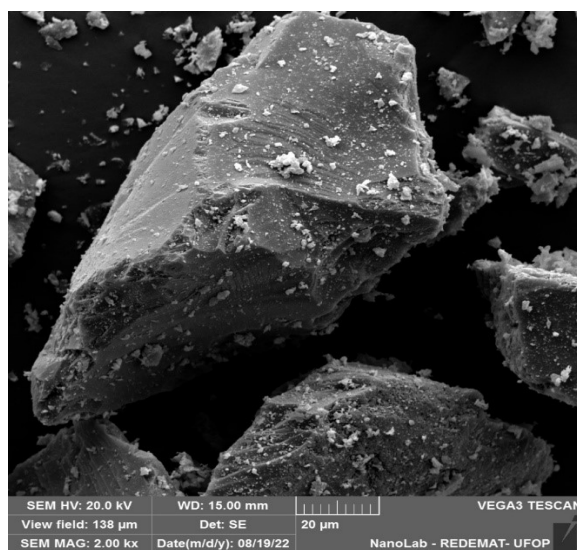
Assim, a Figura 38 (a) e (b), demonstrou uma distribuição granulométrica uniforme, com grãos de tamanho mais específicos, como foi demonstrado pela curva granulométrica na Figura 33. Desse modo, a morfologia apresentou ter um aspecto granular, com formas mais arredondadas. Quando analisado a Figura 38 (c) e (d), foi evidenciado uma superfície mais rugosa, com diversos vazios em sua composição, além de mostrar uma morfologia granular, como comentado anteriormente. E ainda, com a ampliação de 5000 vezes, é apresentado um grão com estrutura aparentemente cristalina, o que pode explicar a sílica analisada pelo FRX. Essa morfologia de partícula granular pode ter influência na trabalhabilidade da resina epóxi, de forma a deixá-la mais fluída. Além disso, com uma granulometria maior e um mesmo tamanho aproximado entre os grãos, pode-se reduzir a área específica de contato com a resina, também influenciando na fluidez. E ainda, a superfície rugosa pode auxiliar na aderência do agregado com a resina.



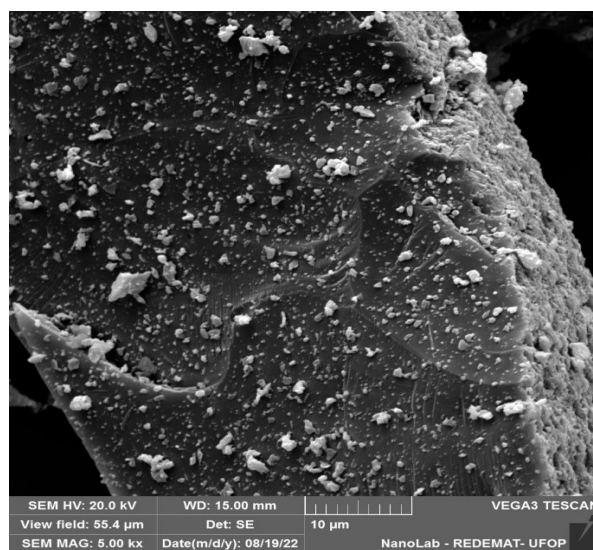
(a)



(b)



(c)



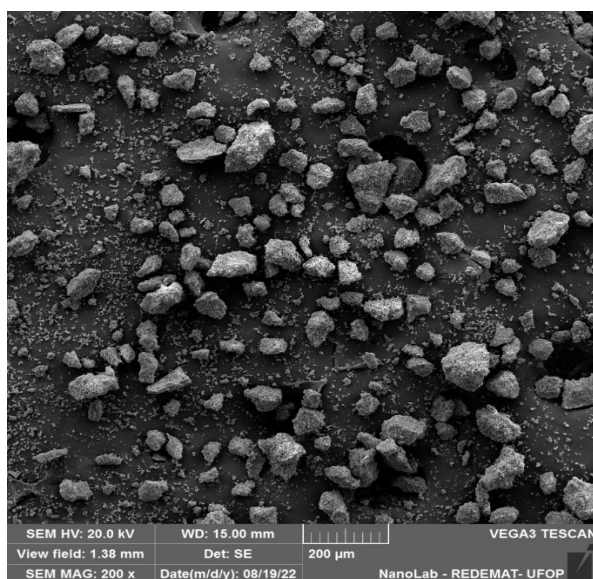
(d)

Figura 39 – MEV do agregado da Total Revestimentos. (a) Ampliação de 200 vezes; (b) Ampliação de 500 vezes; (c) Ampliação de 2000 vezes; (d) Ampliação de 5000 vezes.

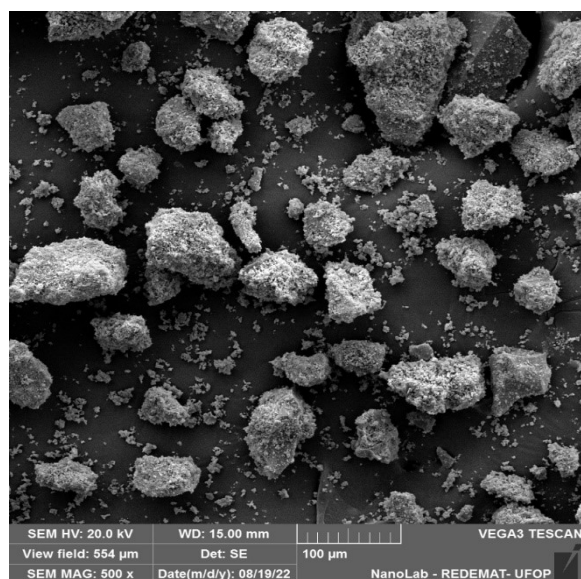
Fonte: Autor (2022).

Por outro lado, a Figura 39 (a) e (b), demonstrou ter uma diversidade de tamanhos de grãos, como apresentado pela curva granulométrica na Figura 34. Na imagem, visualiza-se diversos tamanhos, mas com morfologias próximas a partículas angulares. Quando aproximado, foi retratado as partículas maiores com partículas menores em sua superfície, aparentando ter uma superfície rugosa e encrostada. Porém, assim como o agregado da MBS, na imagem com ampliação de 5000 vezes, foi demonstrado partículas com estrutura aparentemente cristalina, o que também pode ser explicado devido a sílica analisada pelo FRX. Ao contrário do agregado da MBS, essa morfologia dos grãos da Total pode impactar na fluidez da resina. Por outro lado, a distribuição granulométrica mais uniforme, com partículas de diversos tamanhos, pode auxiliar em uma melhor fluidez.

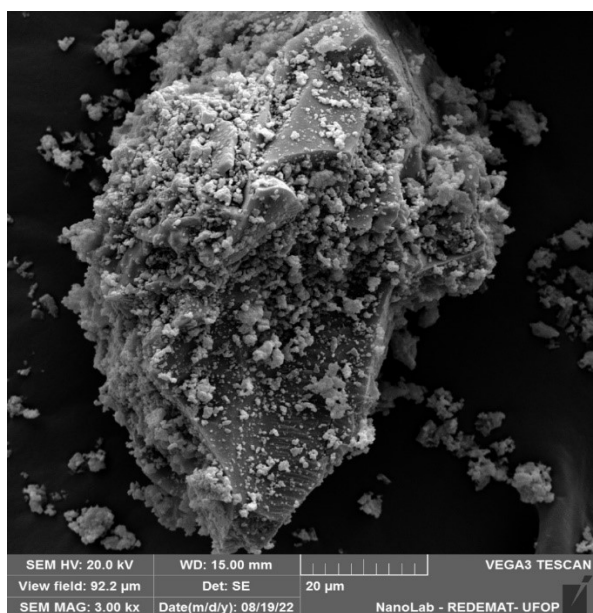
Na Figura 40 foi apresentado as imagens de MEV referente ao resíduo pó de vidro, e na Figura 41 foi apresentado as imagens de MEV referente ao resíduo talco de pedra-sabão.



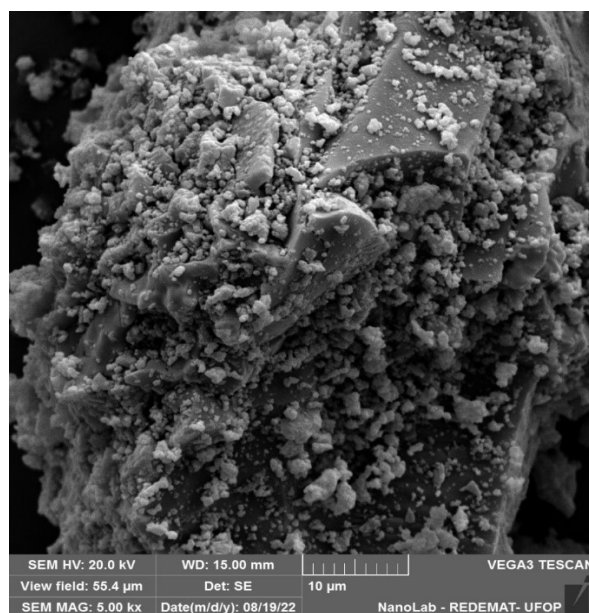
(a)



(b)



(c)

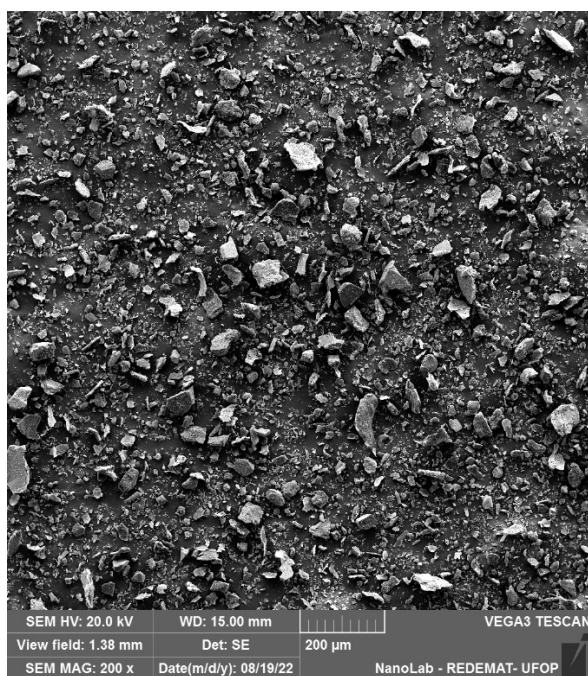


(d)

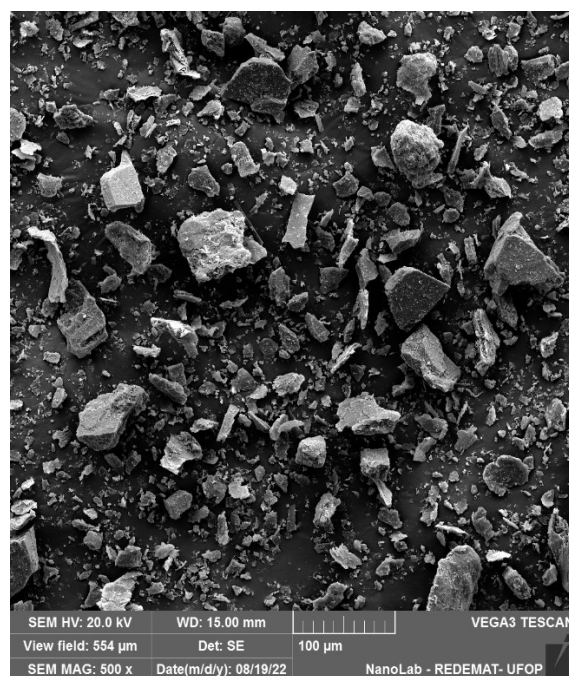
Figura 40 – MEV do pó de vidro. (a) Ampliação de 200 vezes; (b) Ampliação de 500 vezes; (c) Ampliação de 2000 vezes; (d) Ampliação de 5000 vezes.

Fonte: Autor (2022).

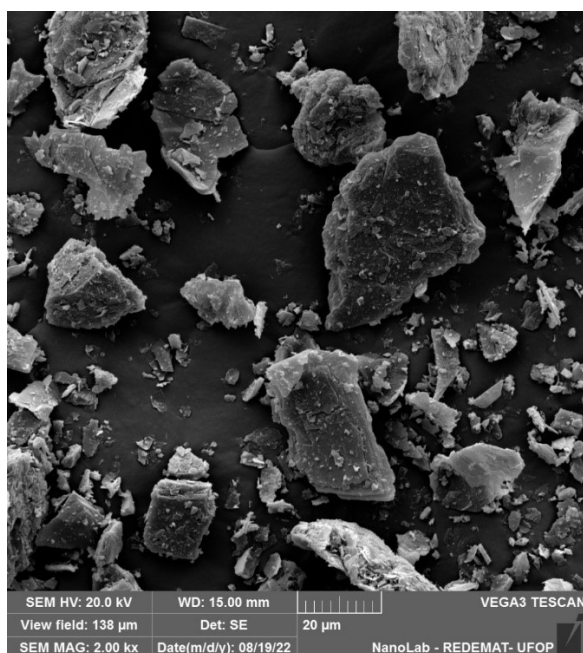
Através da Figura 40 (a) e (b), foi possível identificar a variabilidade granulométrica apresentada anteriormente pela Figura 35, com grande disparidade entre o tamanho das partículas. Além disso, a morfologia desse resíduo apresentou características angulares. E ainda, a superfície dos agregados de maior dimensão apresentou ter partículas menores encrostados, dando o aspecto de uma superfície rugosa. Assim como o agregado da Total, a morfologia desse resíduo pode impactar na fluidez da resina aplicada, mas pode promover uma boa aderência a resina devido a sua superfície rugosa. Contudo, percebeu-se através da Figura 40 (c) e (d) uma estrutura mais cristalina e uniforme, não apresentando um aspecto de foliação.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 41 – MEV do talco de pedra-sabão. (a) Ampliação de 200 vezes; (b) Ampliação de 500 vezes; (c) Ampliação de 2000 vezes; (d) Ampliação de 5000 vezes.

Fonte: Autor (2022).

Por fim, a Figura 41 (a) e (b), diferentemente da figura anterior, demonstrou que o resíduo de talco de pedra-sabão possui uma maior uniformidade granulométrica, evidenciando uma granulometria mais específica, como demonstrado pela Figura 36. Além disso, a morfologia apresentou ter características mais angulares, com uma superfície mais lisa, quando comparado ao resíduo de vidro. Uma característica importante evidenciada pela Figura 36 (d), é o aspecto de foliação ou xistosidade. Esse aspecto evidenciou uma estrutura paralela que produz partições aproximadamente planas na rocha, conforme evidenciado por Rodrigues (2010). Como comentado para o resíduo pó de vidro, a morfologia angular pode influenciar negativamente na fluidez da resina.

4.2 Resistência à tração na flexão

No ensaio de resistência à tração na flexão, comparou-se o ensaio das resinas utilizando do mesmo resíduo, a fim de gerar comparações entre as fabricantes. Considerou-se, através da experiência de todos os ensaios resistência à tração na flexão realizados, como um valor ideal de resistência o valor acima de 25MPa. A resina da Total Revestimentos, em seu traço original, apresentou uma resistência de 27,42MPa. Já a resina da MBS, em seu traço original, apresentou uma resistência de 37,68MPa. Desse modo, foi apresentado pela Figura 42 a superfície de resposta para o resíduo talco de pedra-sabão com a resina da MBS. Já a Figura 43 apresentou a superfície de resposta para o resíduo talco de pedra-sabão com a resina da Total.

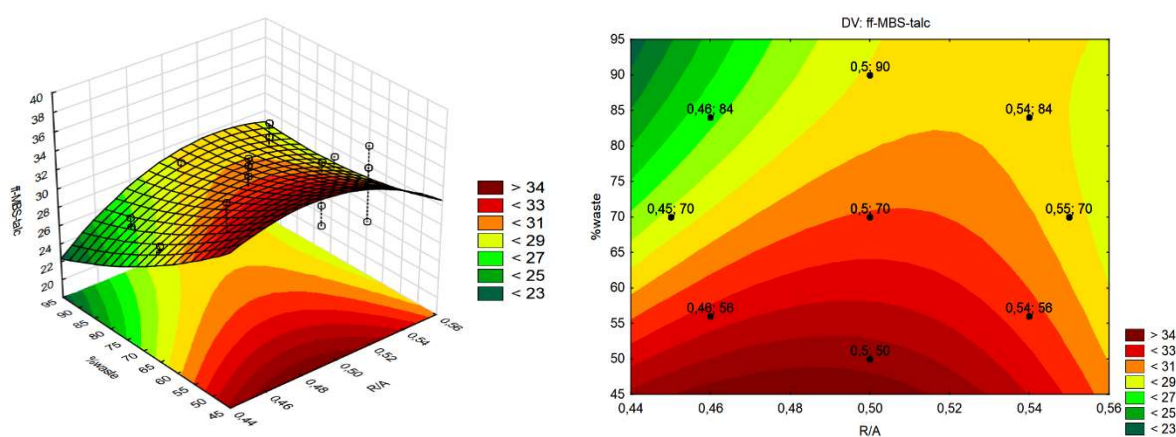


Figura 42 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.

Fonte: Autor (2022).

Primeiramente, comparou-se as resinas para o talco de pedra sabão. Assim, percebeu-se na Figura 42 que para os valores especificados inicialmente como resultados ótimos, praticamente todas as proporções atenderam. Contudo, o valor que melhor se aproximou do traço original da MBS foi a proporção próxima a 45% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A entre 0,46 a 0,50.

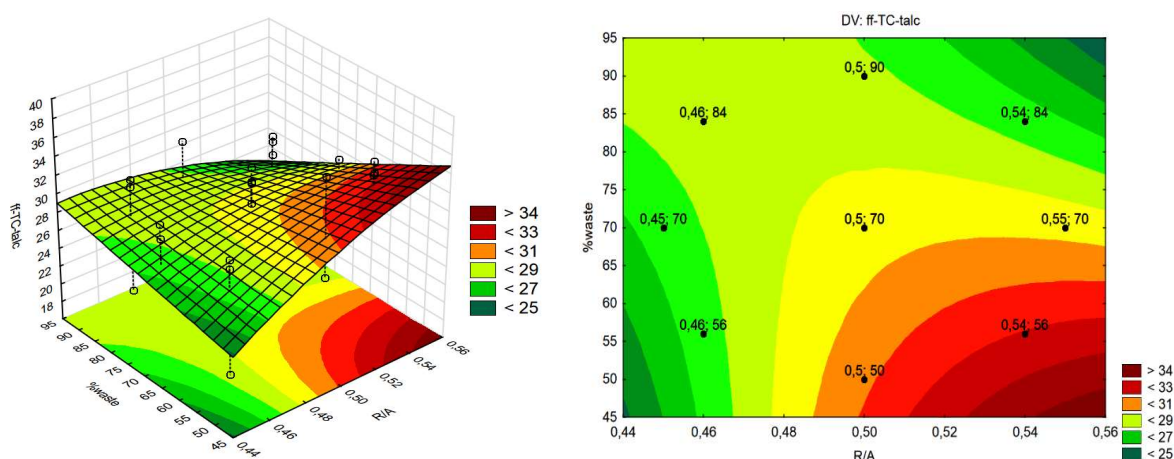


Figura 43 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra-sabão.

Fonte: Autor (2022).

Já a Figura 43, também demonstrou que todos os valores de resíduo para a relação de R/A atendem o valor especificado inicialmente. Desse modo, o valor que mais se adequou ao traço da Total Revestimentos foi as proporções próxima a 55% e 90% de resíduo do total de agregado, nas relações R/A entre 0,45 a 0,46, e 0,52 a 0,54 respectivamente. Porém, a proporção de resíduo que permitiu uma maior resistência à tração na flexão foi próxima a 45% de resíduo do total de agregado em uma relação R/A de aproximadamente 0,55.

Com isso, comparando o resíduo talco de pedra-sabão para ambos os fabricantes nesse ensaio, percebeu-se que a resina da Total Revestimentos permitiu uma substituição em maior quantidade de resíduo de forma a obter maiores resistências. Além disso, na proporção de 45% de resíduo do total de agregado para uma relação R/A de 0,54 a 0,56, percebeu-se um aumento a resistência à tração na flexão quando comparado ao traço original.

Por continuidade, avaliou-se a superfície de resposta da resina da MBS com o resíduo pó de vidro na Figura 44, e na Figura 45 se avaliou a superfície de resposta para o mesmo resíduo, porém para a resina da Total.

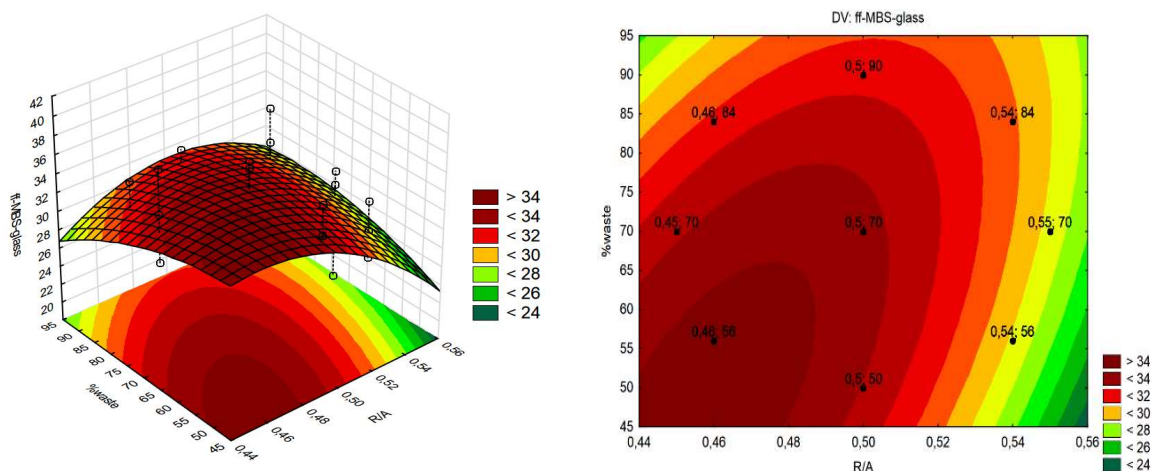


Figura 44 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Assim, percebeu-se na Figura 44 que para os valores especificados inicialmente, praticamente todas as proporções atendem. Contudo, o valor que melhor se aproximou do traço original da MBS foi a proporção próxima a 45% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A entre 0,44 a 0,48.

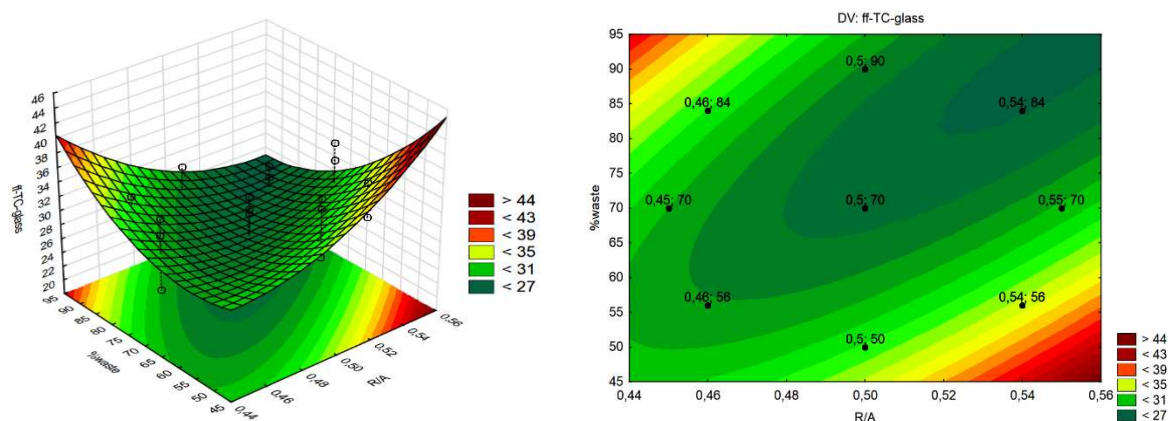


Figura 45 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Por último, a Figura 45 também demonstrou que praticamente todos as proporções de resíduo para a relação de R/A atenderam ao valor especificado inicialmente. Dessa forma, o valor que mais se adequou ao traço da fabricante foi as proporções próxima a 85% de resíduo do total de agregado, nas relações R/A entre 0,52 a 0,56. Contudo, a proporção de resíduo que permitiu uma maior resistência à tração na flexão foi próxima a 45% de resíduo do total de agregado em uma relação R/A de aproximadamente 0,55.

Logo, comparando o resíduo pó de vidro para ambos os fabricantes nesse ensaio, percebeu-se que a resina da Total Revestimentos permitiu uma maior substituição em quantidade de resíduo de forma a obter uma maior resistência. Além disso, na maioria das proporções realizadas com a resina da fabricante, percebeu-se um aumento da resistência à tração na flexão.

4.3 Resistência à compressão

No ensaio de resistência à compressão, correlacionou-se os ensaios das resinas utilizando do mesmo resíduo, a fim de gerar comparações entre as fabricantes. Considerou-se como um valor ideal de resistência, através da experiência de todos os ensaios resistência à compressão realizados, o valor acima de 80MPa. A resina da Total Revestimentos, em seu traço original, apresentou uma resistência de 109,99MPa. Já a resina da MBS, em seu traço original, apresentou uma resistência de 88,10MPa. Portanto, foi apresentado pela Figura 46 a superfície de resposta para o resíduo talco de pedra-sabão com a resina da MBS. Já a Figura 47 apresentou a superfície de resposta para o mesmo resíduo com a resina da Total.

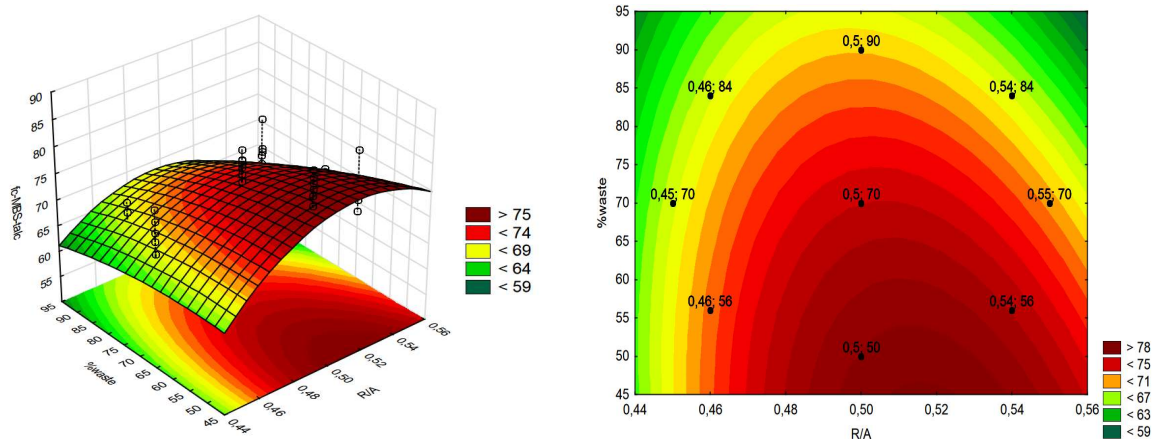


Figura 46 – Superfície de resposta para a resistência à compressão da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.

Fonte: Autor (2022).

Assim, comparou-se inicialmente as resinas para o talco de pedra-sabão. Desse modo, percebeu-se que na Figura 46 dos valores especificados inicialmente, praticamente nenhuma das proporções analisadas atenderam. Contudo, o valor que mais se aproximou do traço original da MBS foi a proporção próxima a 45% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A entre 0,50 a 0,54, chegando apenas a valores acima de 75 MPa.

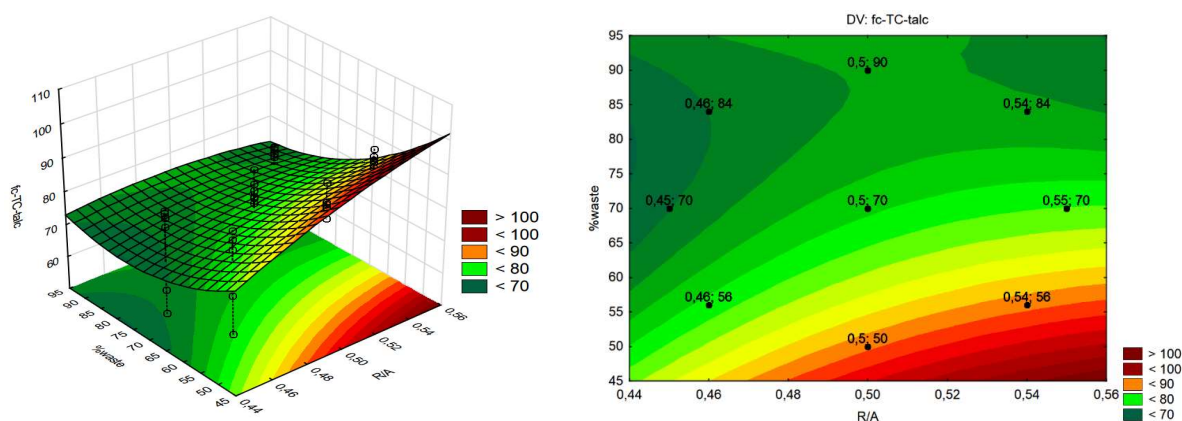


Figura 47 - Superfície de resposta para a resistência à compressão da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra-sabão.

Fonte: Autor (2022).

Em seguida, a Figura 47 demonstrou que ao contrário da MBS, para os traços da Total Revestimentos, uma maior parte das proporções de resíduo para a relação de R/A atenderam ao valor especificado inicialmente. Assim, para uma proporção abaixo de 45% de resíduo do total de agregado, para todas as relações R/A, atenderam os valores objetivados. Dessa forma, o valor que mais se adequou ao traço da fabricante foi a proporção próxima a 45% de resíduo do total de agregado, nas relações R/A entre 0,54 a 0,56.

Logo, comparando os resultados do resíduo talco de pedra-sabão para ambos os fabricantes nesse ensaio, percebeu-se que a Total Revestimentos permitiu uma substituição em 45% da quantidade de resíduo de forma a obter uma maior resistência. Além disso, a resina da MBS não apresentou resultados satisfatórios com esse tipo de resíduo. Isso pode ser explicado devido a dureza do resíduo, que como comentado por Rodrigues (2010), o talco de pedra-sabão possui uma baixa dureza. Logo, esse fato pode ter contribuído para uma baixa resistência à compressão.

Assim, avaliou-se a superfície de resposta da resina da MBS com o resíduo pó de vidro na Figura 48, e na Figura 49 se avaliou a superfície de resposta para o mesmo resíduo, porém para a resina da Total.

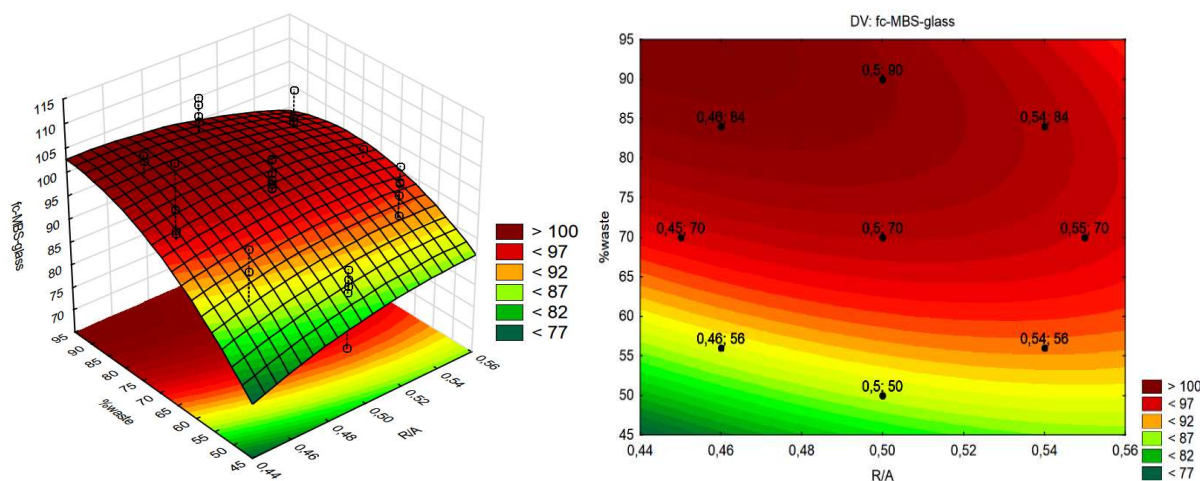


Figura 48 - Superfície de resposta para a resistência à compressão da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Desse modo, percebeu-se que na Figura 48, acima de 55% de resíduo do total de agregado para todas as faixas de R/A, foi atendido o valor especificado inicialmente. De toda forma, o valor que mais se aproximou do traço original da MBS foi a proporção próxima a 55% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A entre 0,44 a 0,50. Além disso, a proporção próxima a 95% de resíduo do total de agregado para uma relação R/A de 0,45, demonstrou ter o maior valor de resistência à compressão

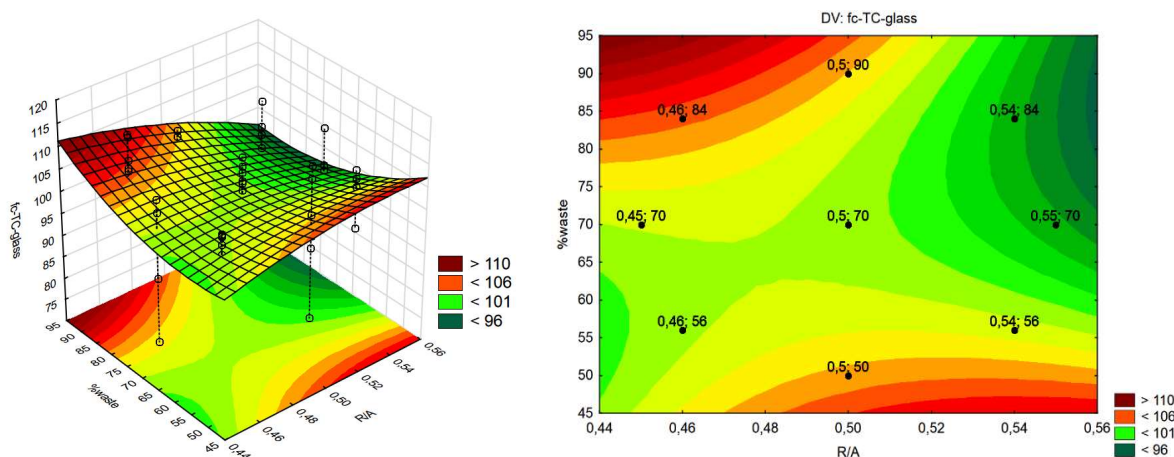


Figura 49 - Superfície de resposta para a resistência à compressão da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Por outro lado, a Figura 49 demonstrou que para todos os traços da Total Revestimentos, todas as proporções de resíduo para a relação de R/A atendem o valor especificado inicialmente. Assim, para uma proporção de 95% de resíduo do total de agregado, para a relação R/A de 0,45, se aproximou do valor do traço original da fabricante, sendo esse também o maior valor para a resistência.

Logo, comparando os resultados do resíduo pó de vidro para ambos os fabricantes nesse ensaio, percebeu-se que ambos os fabricantes permitiram uma substituição em 95% da quantidade de resíduo de forma a obter uma maior resistência. Porém, a resina da Total Revestimentos foi a que apresentou os maiores valores de resistência com esse tipo de resíduo.

4.4 Consistência

No ensaio de consistência, comparou-se o ensaio das resinas utilizando do mesmo resíduo, a fim de gerar comparações entre as fabricantes. Padronizou-se, através da experiência de todos os ensaios de consistências realizados, como uma faixa ideal de trabalhabilidade da resina uma abertura entre 30cm e 40cm. A resina da Total Revestimentos, em seu traço original, apresentou uma abertura de 40,7cm. Já a resina da MBS, em seu traço original, apresentou uma abertura de 35,7cm. Assim, na Figura 50 foi possível visualizar a superfície de resposta da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão. E, na Figura 51 foi possível visualizar a superfície de resposta da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra-sabão.

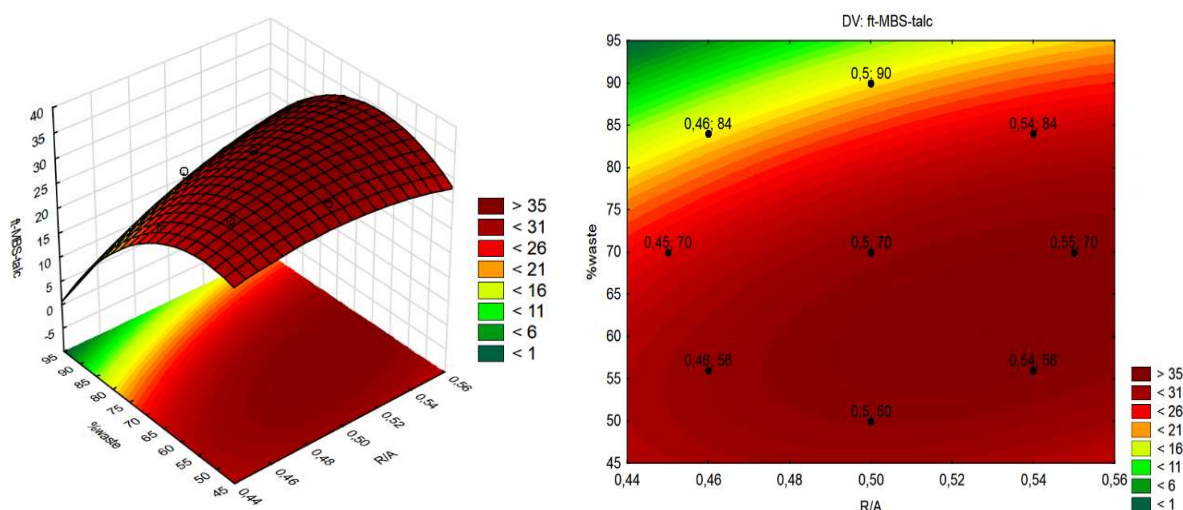


Figura 50 - Superfície de resposta para a consistência da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.

Fonte: Autor (2022).

Inicialmente, comparando as resinas para o talco de pedra sabão, como apresentado na Figura 50, percebeu-se que para a faixa especificada do ensaio inicialmente, a relação de resíduo que atende foi de 50% a 65% do total de agregado, dentro toda a faixa de resina/agregado (R/A) analisada. Contudo, o valor que melhor se aproxima do traço original da MBS foi a proporção próxima a 60% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A entre 0,50 e 0,54.

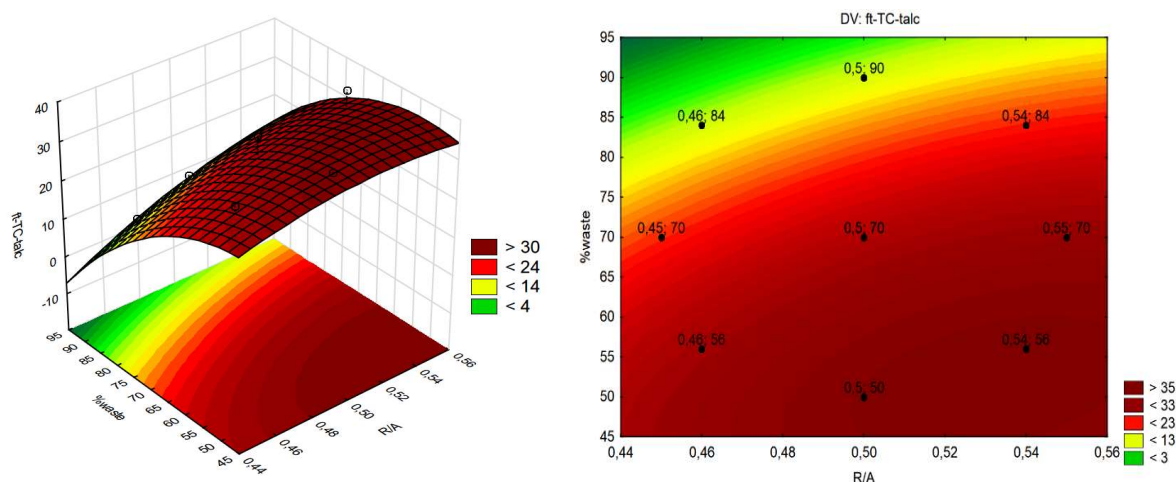


Figura 51 - Superfície de resposta para a consistência da resina da Total Revestimento com o resíduo talco de pedra sabão.

Fonte: Autor (2022).

Já a Figura 51, demonstrou uma faixa mais selecionada, atendendo aos valores pretendidos para a consistência com a relação de resíduo de 45% a 55% para uma faixa de R/A de 0,50 a 0,56. Desse modo, o valor que mais se adequou ao traço da Total Revestimentos foi a proporção próxima a 50% de resíduo do total de agregado, na relação R/A entre 0,54 a 0,56.

Comparando o resíduo talco de pedra-sabão para ambos os fabricantes nesse ensaio, percebeu-se que a resina MBS permitiu substituir uma maior quantidade de resíduo de forma a manter a trabalhabilidade. Como discutido anteriormente nas imagens de MEV e na análise granulométrica, a morfologia e a pequena granulometria podem ter impactado na quantidade de resíduo na matriz de resina epóxi, de forma a não permitir uma boa trabalhabilidade.

Por conseguinte, avaliou-se a superfície de resposta da resina da MBS com o resíduo pó de vidro na Figura 52, e na Figura 53 se avaliou a superfície de resposta para o mesmo resíduo, porém para a resina da Total.

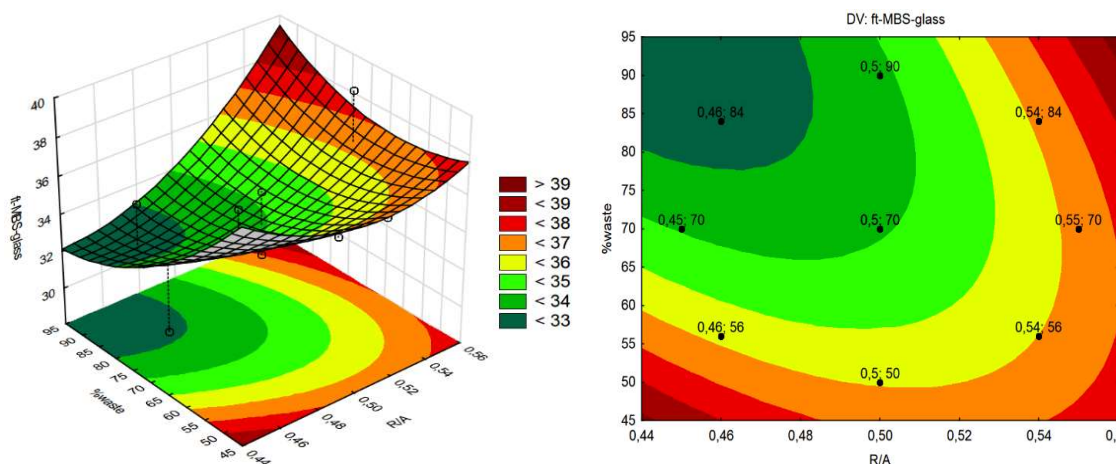


Figura 52 - Superfície de resposta para a consistência da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Por um lado, na Figura 52 foi demonstrado que a faixa de resíduo que atende aos valores fixados inicialmente, foi de 50% à 70% de resíduo para o total de agregado, na faixa de R/A analisada. Porém, o valor que mais se aproximou do traço original da MBS foi a proporção próxima a 62,5% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A entre 0,46 à 0,54.

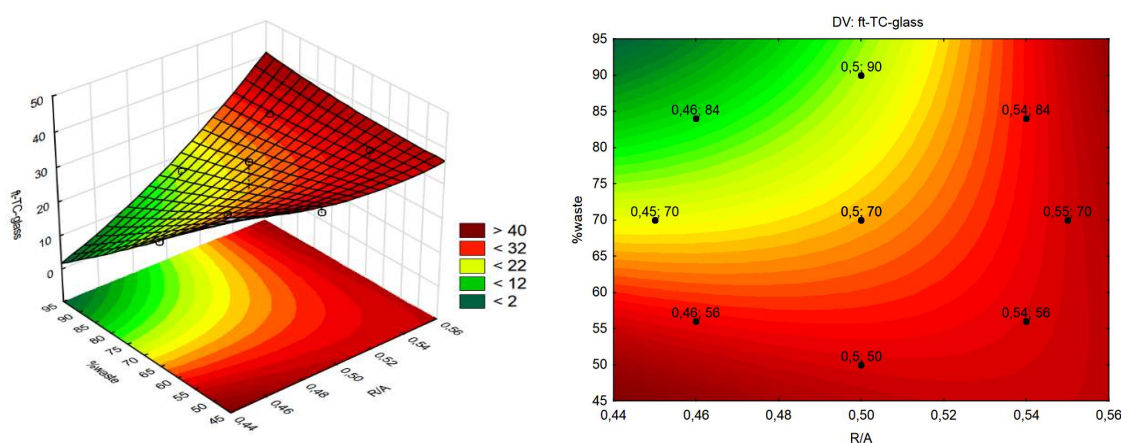


Figura 53 - Superfície de resposta para a consistência da resina da Total Revestimento com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Por outro lado, a Figura 53 mostrou uma faixa próxima a resina da MBS, atendendo aos valores pretendidos para o ensaio com a relação de resíduo de 45% à 55% para uma faixa de R/A de 0,55 à 0,60. Dessa forma, o valor que mais se adequou ao traço da Total Revestimentos foi a proporção próxima a 47,5% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A entre 0,44 à 0,46.

Por fim, comparando o resíduo pó de vidro para ambos os fabricantes, percebeu-se que a resina da MBS permitiu substituir uma maior quantidade de resíduo de formar a manter a trabalhabilidade. Vale ressaltar, que assim como o resíduo talco de pedra-sabão, para o resíduo pó de vidro a morfologia e a pequena granulometria podem ter impactado na quantidade de resíduo na matriz de resina epóxi, de forma a não permitir uma boa trabalhabilidade.

4.5 Resistência à abrasão

O ensaio de resistência à abrasão permitiu encontrar um traço ótimo do plano de experimento, o que forneceu a maior resistência mecânica à abrasão das matrizes de resina epóxi. Com isso, comparou-se o ensaio das resinas utilizando do mesmo resíduo, a fim de gerar comparações entre as fabricantes. Considerou-se como um valor ideal de perda de massa, através da experiência de todos os ensaios resistência à abrasão realizados, o valor abaixo de 0,30g. A resina da Total Revestimentos, em seu traço original, apresentou uma perda de massa de 0,06g. Já a resina da MBS, em seu traço original, apresentou uma perda de massa de 0,35g. Assim, foi apresentado pela Figura 54 e Figura 58 a superfície de resposta para o resíduo talco de pedra-sabão com a resina da MBS. Já a Figura 55 apresentou a superfície de resposta para o mesmo resíduo com a resina da Total.

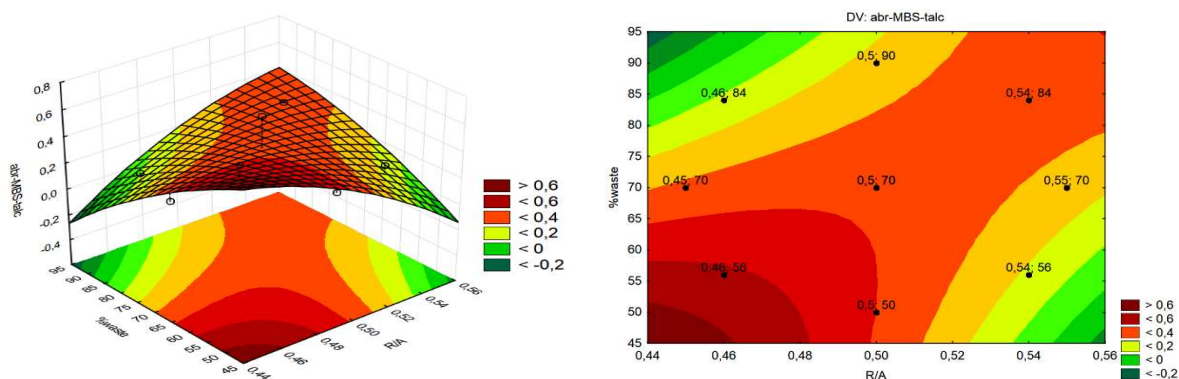


Figura 54 – Superfície de resposta para a resistência à abrasão da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.

Fonte: Autor (2022).

Através da Figura 54 percebeu-se que dos valores especificados inicialmente, uma baixa quantidade das proporções analisadas atendeu ao objetivo. Contudo, os valores que mais se aproximaram do traço original da MBS foram as proporções próximas a 70% e 84% de resíduo do total de agregado, para as relações R/A entre 0,45 a 0,50 e 0,50 a 0,54, respectivamente. Além disso, valores acima de 80% de resíduo do total de agregado na relação R/A de 0,44 a 0,48 e valores abaixo 50% de resíduos do total de agregado na relação R/A de 0,54 a 0,56 apresentaram os menores valores de perda de massa, sendo então esses os melhores índices.

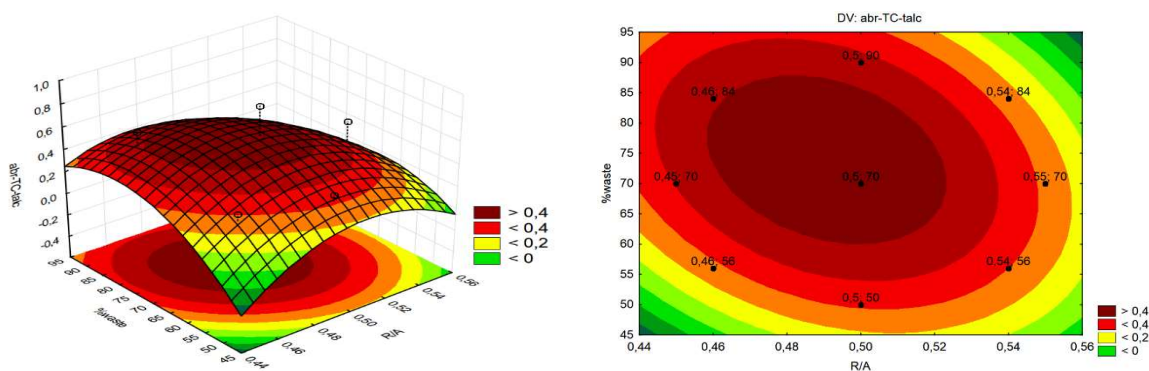


Figura 55 - Superfície de resposta para a resistência à abrasão da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra-sabão.

Fonte: Autor (2022).

Por conseguinte, a Figura 55 demonstrou que similarmente a resina MBS, para os traços da Total Revestimentos, uma maior parte das proporções de resíduo para a relação de R/A não atenderam ao valor especificado inicialmente. Assim, para uma proporção abaixo de 65% de resíduo do total de agregado, para a relação R/A entre 0,44 e 0,50, atendeu-se aos valores objetivados inicialmente. Já todas as proporções de resíduo, para as relações R/A entre 0,54 e 0,56, também se atendeu aos objetivos iniciais.

Logo, comparando os resultados do resíduo talco de pedra-sabão para ambos os fabricantes nesse ensaio, percebeu-se que a MBS permitiu uma substituição em acima de 80% da quantidade de resíduo de forma a obter uma menor perda de massa.

Ainda, avaliou-se a superfície de resposta da resina da MBS com o resíduo pó de vidro na Figura 56, e na Figura 57 se avaliou a superfície de resposta para o mesmo resíduo, porém para a resina da Total.

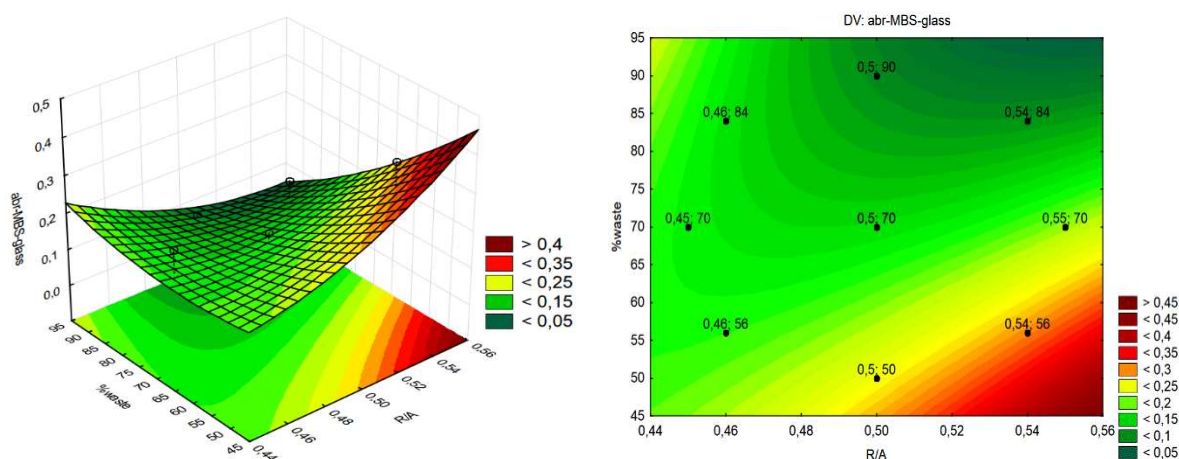


Figura 56 - Superfície de resposta para a resistência à abrasão da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 56 evidenciou-se que dos valores especificados inicialmente, ao contrário do apresentado anteriormente, uma alta quantidade das proporções analisadas atendeu ao objetivo. Assim, os valores que mais se aproximaram do traço original da MBS foram as proporções próximas entre 45% a 65% de resíduo do total

de agregado, para as relações R/A entre 0,48 a 0,56. Além disso, os valores acima de 95% de resíduo do total de agregado na relação R/A de 0,52 a 0,56 apresentaram os menores valores de perda de massa, sendo então esses os melhores índices.

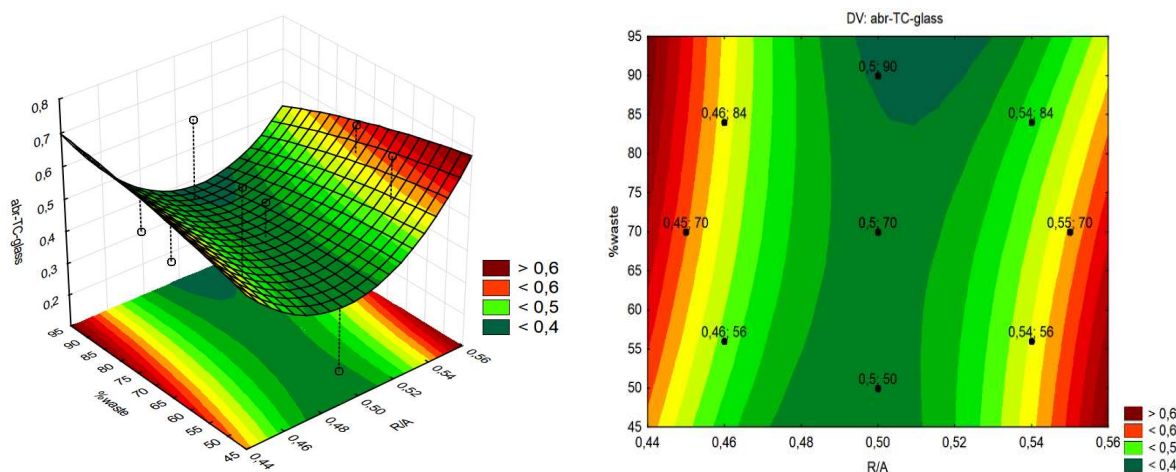


Figura 57 - Superfície de resposta para a resistência à abrasão da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Do mesmo modo, a Figura 57 demonstrou que para os traços da Total Revestimentos, toda as proporções de resíduo para a relação de R/A não atenderam ao valor especificado inicialmente. Assim, para uma proporção acima de 85% de resíduo do total de agregado, para a relação R/A entre 0,50 e 0,52, aproximou-se aos valores objetivados inicialmente.

Então, comparando os resultados do resíduo pó de vidro para ambos os fabricantes nesse ensaio, percebeu-se que a MBS permitiu uma substituição em acima de 95% da quantidade de resíduo de forma a obter uma menor perda de massa. Além de que apresentou os melhores valores, quando comparado aos valores da Total Revestimentos. E também, percebeu-se uma melhora significativa quando comparado os resíduos na fabricante MBS, sendo que o pó de vidro apresentou melhores características abrasivas. Isso pode ser relacionado a sua composição química, como demonstrado através do FRX, com altos teores de sílica.

4.6 Resistência a aderência à tração

No ensaio de resistência ao arrancamento, correlacionou-se os ensaios das resinas utilizando do mesmo resíduo, a fim de gerar comparações entre as fabricantes. Considerou-se como um valor ideal de resistência, através da experiência de todos os ensaios resistência ao arrancamento realizados, os valores acima de 0,5MPa. A resina da Total Revestimentos, em seu traço original, apresentou uma resistência de 0,55MPa. Já a resina da MBS, em seu traço original, apresentou uma resistência de 0,57MPa. Portanto, foi apresentado pela Figura 58 a superfície de resposta para o resíduo talco de pedra-sabão com a resina da MBS. Já a Figura 59 apresentou a superfície de resposta para o mesmo resíduo com a resina da Total. Nem todos os valores obtidos apresentaram a ruptura no substrato, sendo os menores valores referentes a ruptura na interface entre resina/substrato, como demonstrado no Anexo A.

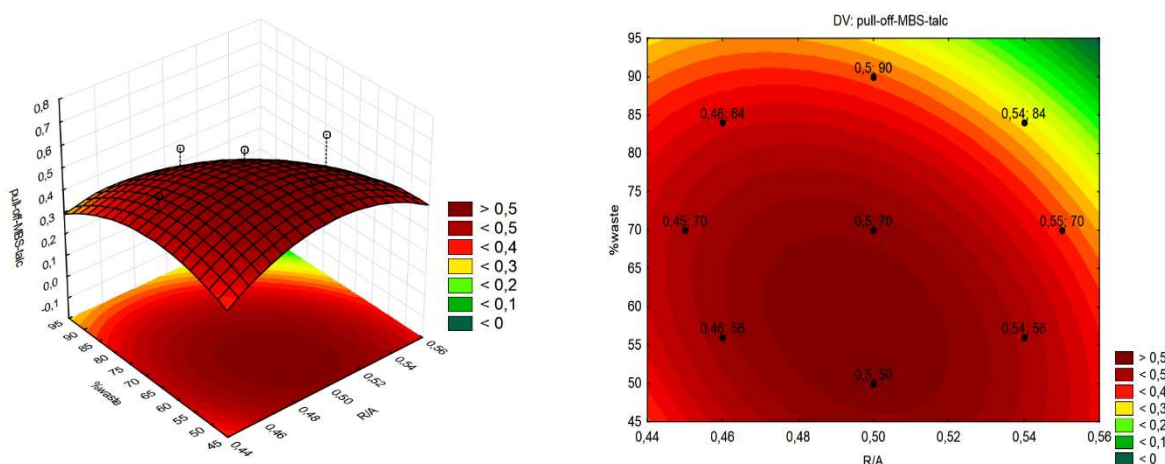


Figura 58 - Superfície de resposta para a resistência ao arrancamento da resina da MBS com o resíduo talco de pedra sabão.

Fonte: Autor (2022).

Inicialmente, comparando as resinas para o talco de pedra sabão, como apresentado na Figura 58, percebeu-se que para a faixa especificada inicialmente, a relação de resíduo de 45% a 70% do total de agregado, dentro da faixa referente a relação R/A de 0,46 a 0,53, atendeu aos valores. Contudo, o valor que melhor se

aproxima do traço original da MBS foi a proporção próxima a 55% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A de 0,50.

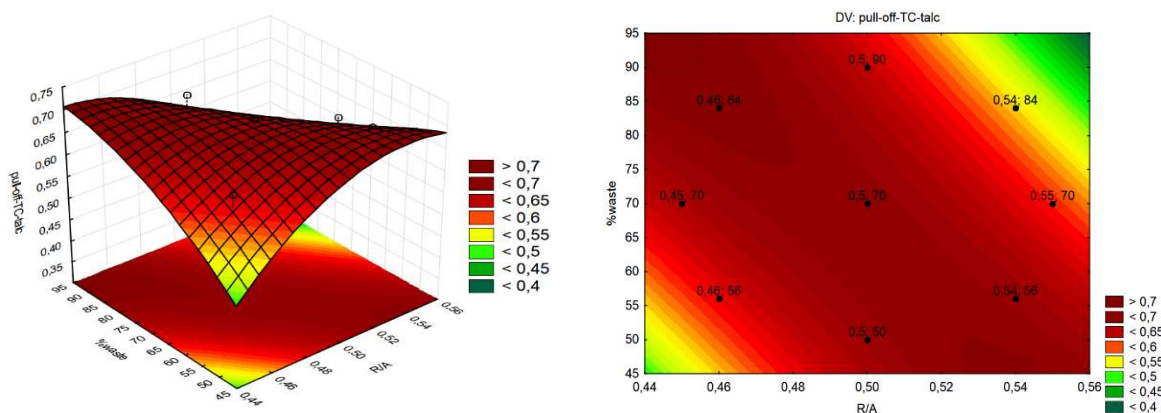


Figura 59 - Superfície de resposta para a resistência ao arrancamento da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra sabão.

Fonte: Autor (2022).

Já a Figura 59, demonstrou que em quase todas as proporções de resíduo do total de agregado, atendeu-se aos valores pretendidos para o ensaio de arrancamento. Porém, o valor que mais se adequou ao traço da Total Revestimentos foram as proporções próximas a 50% e 85% de resíduo do total de agregado, nas relações R/A entre 0,44 a 0,46 e 0,52 a 0,56. Assim, o valor de 50% de resíduo do total de agregado com a relação R/A de 0,50, apresentou o maior valor de resistência no ensaio.

Comparando o resíduo talco de pedra-sabão para ambos os fabricantes nesse ensaio, percebeu-se que a resina da Total Revestimentos permitiu substituir uma maior quantidade de resíduo de forma que apresentou as maiores resistências. Além disso, com a resina dessa fabricante, conseguiu-se os maiores valores de resistência ao arrancamento.

Desse modo, avaliou-se a superfície de resposta da resina da MBS com o resíduo pó de vidro na Figura 60, e na Figura 61 se avaliou a superfície de resposta para o mesmo resíduo, porém para a resina da Total.

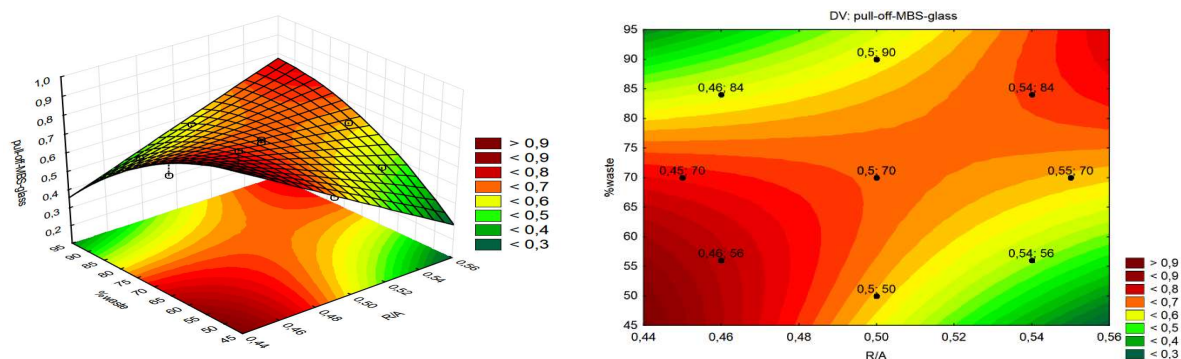


Figura 60 - Superfície de resposta para a resistência ao arrancamento da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 60 foi demonstrado que a faixa de resíduo que atendeu aos valores fixados inicialmente, o que representou praticamente toda a faixa de valores de resíduo para a faixa de R/A analisada. Porém, os valores que mais se aproximaram do traço original da MBS foram as proporções de 56% e 85% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A entre 0,44 a 0,50 e 0,50 a 0,56, respectivamente. A proporção de resíduo que apresentou o maior valor de resistência ao arrancamento foi a de 45% do total de agregado com relação R/A de 0,44.

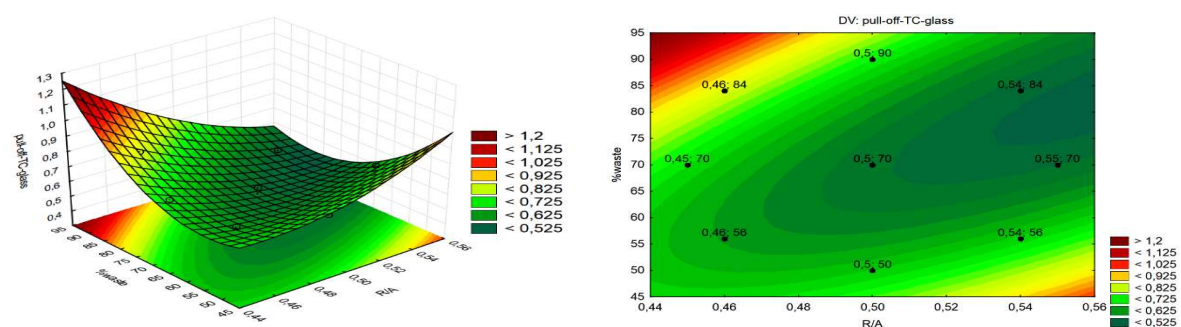


Figura 61 - Superfície de resposta para a resistência ao arrancamento da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Por outro lado, a Figura 61 mostrou da mesma forma que os valores fixados inicialmente representaram toda a faixa de valores de resíduo para a faixa de R/A

analisada. O valor que mais se aproximou do traço original da Total foi a proporção de 80% de resíduo para a relação R/A de 0,54 a 0,56. Além disso, o valor que apresentou a maior resistência foi a proporção próxima a 95% de resíduo do total de agregado, para uma relação R/A de 0,44.

Por fim, comparando o resíduo pó de vidro para ambos os fabricantes, percebeu-se que a resina da Total Revestimentos permitiu substituir uma maior quantidade de resíduo mantendo a resistência ao arrancamento, além de apresentar os maiores valores para esse ensaio.

4.7 Perfis de usabilidade

Os perfis de usabilidade permitiram correlacionar todos os ensaios de uma mesma resina e resíduo, a fim de encontrar um traço ótimo do plano de experimento. Com isso, realizou-se as análises de todos os ensaios. Na Figura 62 foi possível visualizar o perfil de usabilidade da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.

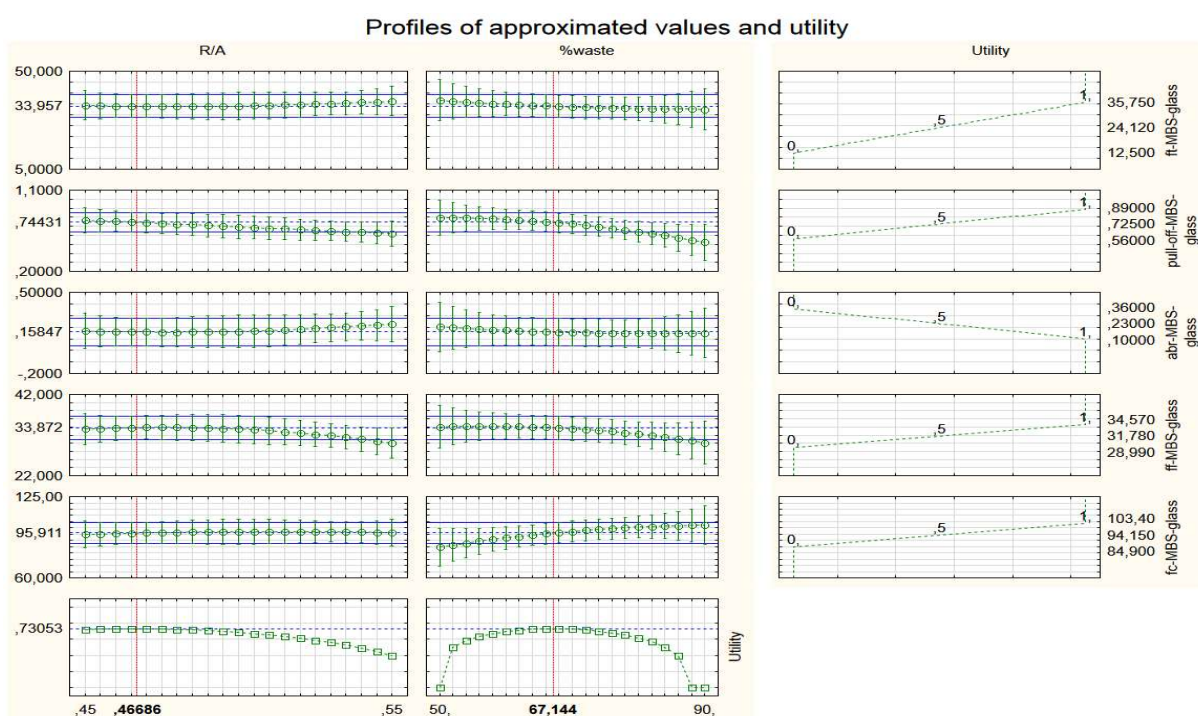


Figura 62 – Perfil de usabilidade da resina da MBS com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Conforme demonstrado na Figura 62, correlacionou-se todos os ensaios realizados neste trabalho para a resina da MBS com resíduo de vidro. Deduziu-se que a proporção que melhor atendeu as características desejadas foi a que possuiu uma proporção em peso de 0,47 de resina para agregado, sendo que do total de agregado, 67,14% seja resíduo pó de vidro. O valor do índice de utilidade igual a 0,73, confirmou que há uma localização próxima dos pontos de inflexão para todas as variáveis de entrada, o que indicou a proximidade entre os valores desejados para todos os ensaios. Assim, por conseguinte, na Figura 63 foi possível visualizar o perfil de usabilidade da resina da Total com o resíduo pó de vidro.

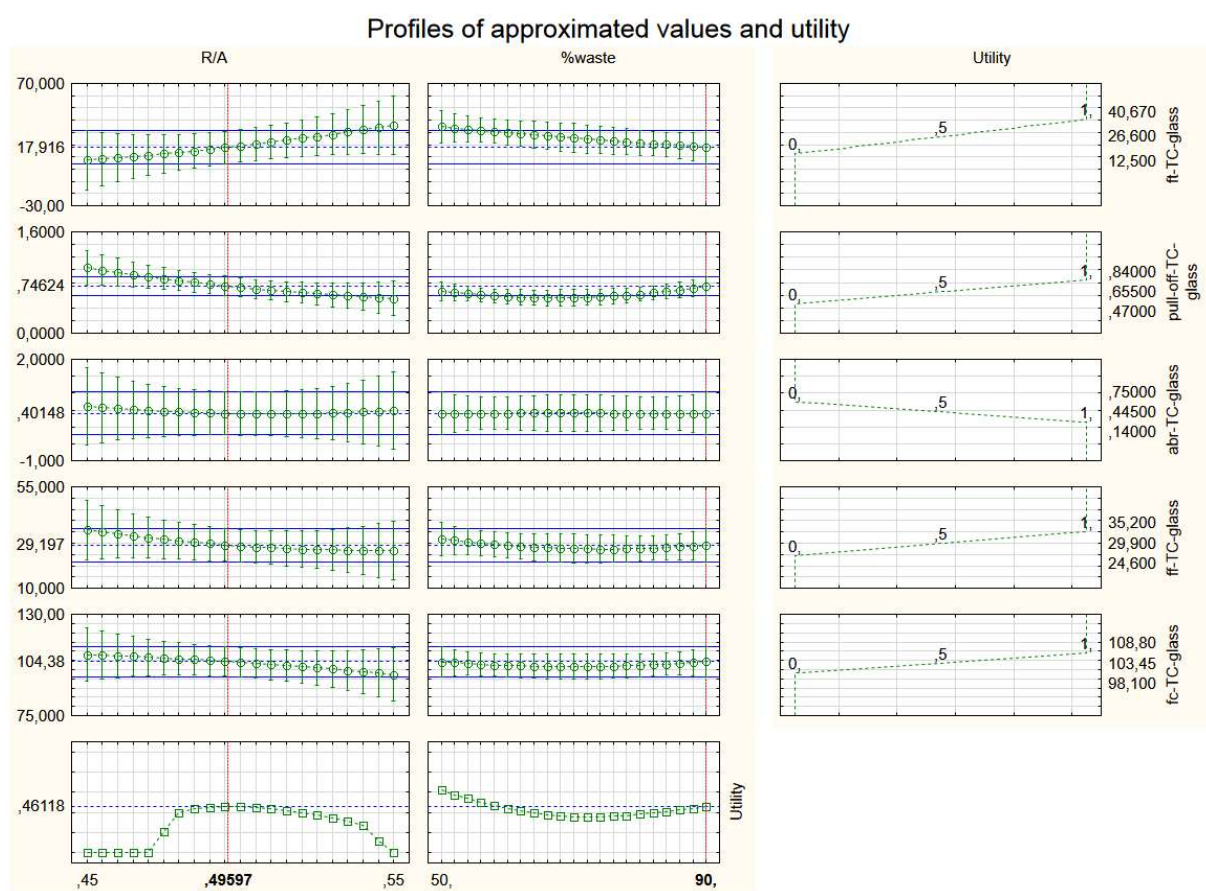


Figura 63 - Perfil de usabilidade da resina da Total Revestimentos com o resíduo pó de vidro.

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 63, correlacionou-se todos os ensaios realizados neste trabalho para a resina da Total Revestimentos com resíduo de vidro. Deduziu-se que a proporção que melhor atendeu as características desejadas foi a que possuiu uma proporção em peso de 0,50 de resina para agregado, sendo que do total de agregado, 90% seja resíduo pó de vidro. E ainda, na Figura 63 foi possível visualizar o perfil de usabilidade da resina da MBS com o resíduo talco de pedra sabão.

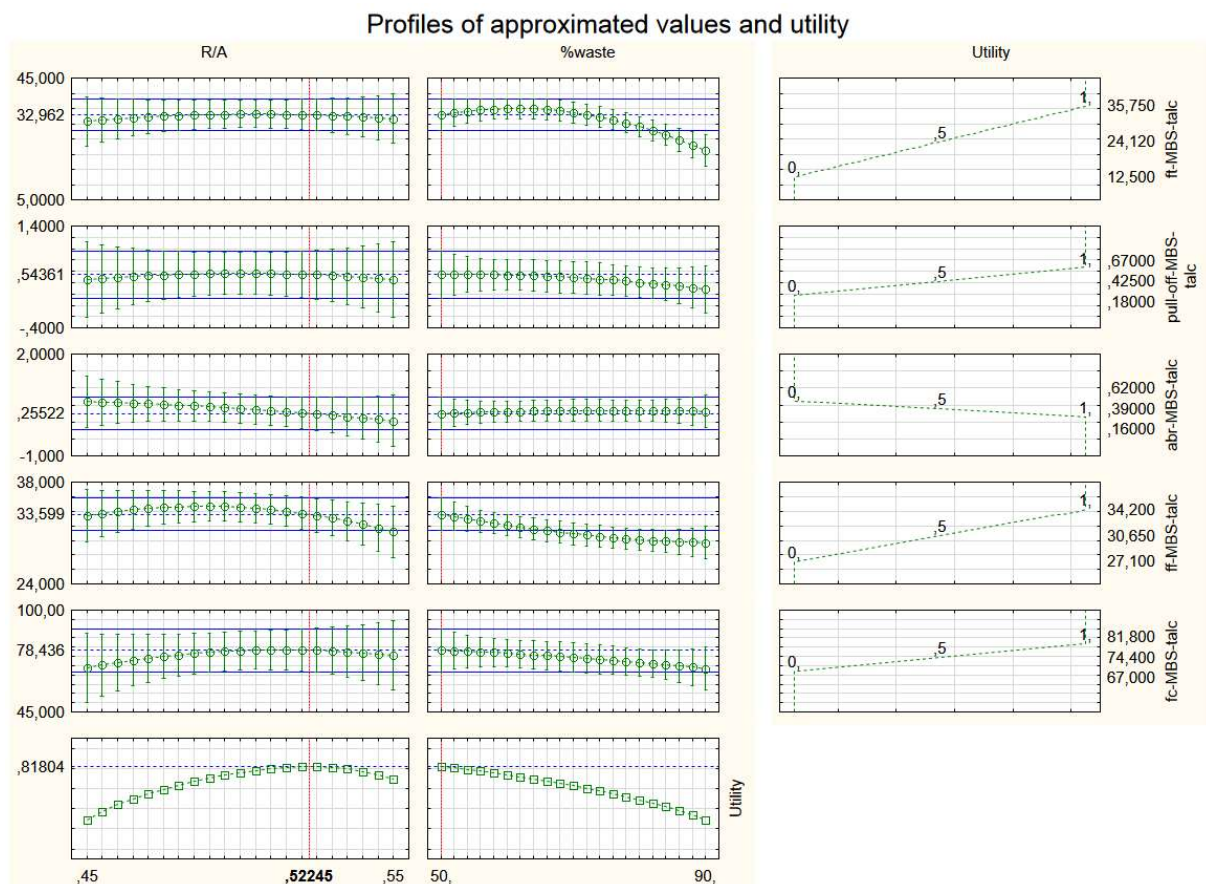


Figura 64 - Perfil de usabilidade da resina da MBS com o resíduo talco de pedra-sabão.

Fonte: Autor (2022).

Como demonstrado na Figura 64, foi correlacionado todos os ensaios realizados neste trabalho para a resina da MBS com resíduo talco de pedra-sabão. Deduziu-se que a proporção que melhor atendeu as características desejadas foi a que possuiu uma proporção em peso de 0,52 de resina para agregado, sendo que do total de

agregado, 50% seja resíduo talco de pedra sabão. O valor do índice de utilidade igual a 0,82, confirmou que há uma localização próxima dos pontos de inflexão para todas as variáveis de entrada, o que indicou a proximidade entre os valores desejados para todos os ensaios. Por fim, a Figura 65 permitiu visualizar o perfil de usabilidade da resina da Total com o resíduo pó de vidro.

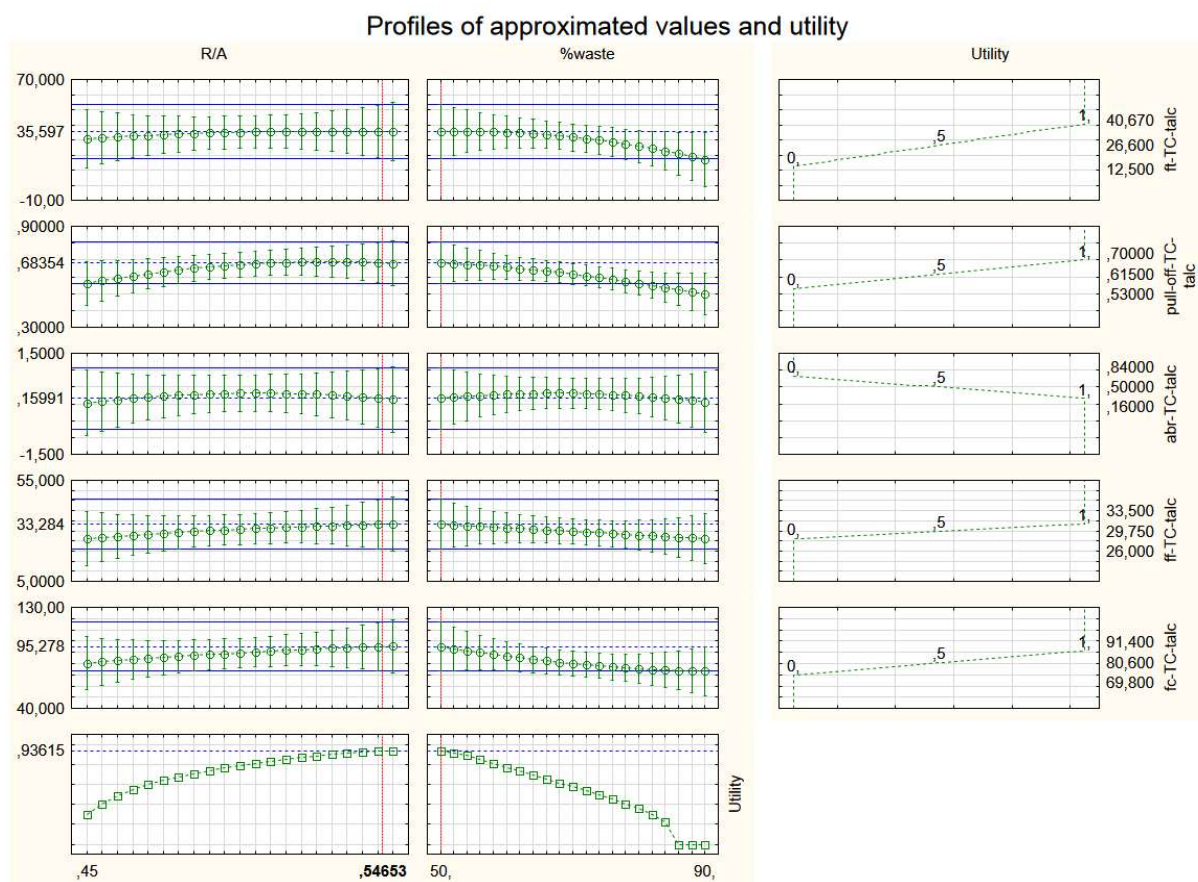


Figura 65 - Perfil de usabilidade da resina da Total Revestimentos com o resíduo talco de pedra sabão.

Fonte: Autor (2022).

Assim, na Figura 65, correlacionou-se todos os ensaios realizados neste trabalho para a resina da Total Revestimentos com resíduo talco de pedra-sabão. Deduziu-se que a proporção que melhor atendeu as características desejadas foi a que possuiu uma proporção em peso de 0,55 de resina para agregado, sendo que do total de agregado, 50% seja resíduo pó de vidro. O valor do índice de utilidade igual a 0,94,

confirmou que há uma localização próxima dos pontos de inflexão para todas as variáveis de entrada, o que indicou a proximidade entre os valores desejados para todos os ensaios.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da resistência mecânica nas propriedades de matrizes em resina epóxi na substituição dos agregados naturais por resíduos do beneficiamento da pedra sabão e do vidro. Desse modo, através de revisão bibliográfica e a análise numérica dos valores obtidos por ensaios físicos, foi possível identificar a aplicação dos resíduos em traços pré-determinados por um planejamento Simplex-Lattice, através de superfícies de resposta, advindas dos valores numéricos resultantes dos ensaios.

Com isso, para a resina da Master Builders Solutions, conclui-se para o resíduo pó de vidro, em um resultado possível de substituição de aproximadamente 67%, em uma proporção entre resina e agregado de 0,47. E, para o resíduo talco de pedra sabão, a quantidade de resíduo possível de substituição foi de 50%, para uma proporção entre resina e agregado de 0,52.

Por outro lado, ao analisar a resina da Total Revestimentos Industriais, percebe-se algumas diferenças quando comparado a outra fabricante. Para o resíduo pó de vidro, obteve-se um resultado possível de substituição de 90%, para uma proporção entre resina e agregado de 0,50. Além disso, para o resíduo talco de pedra sabão, o resultado possível de substituição foi de 50% para uma proporção entre resina e agregado de 0,55.

Dessa forma, conclui-se então que as resinas com o resíduo de vidro na substituição, para os dois fabricantes, apresentaram melhores desempenhos mecânicos, do que utilizando o resíduo de pedra sabão. Isso pode ser associado à sua morfologia, em que apresenta uma superfície rugosa e uma composição mais densa, sem o aspecto de foliação, conforme observado no MEV. E também, como foi demonstrado pelo FRX, o resíduo de vidro apresentou um maior teor de sílica e barrilha do que o resíduo de pedra sabão. Tais fatores podem ter influenciado a resistência mecânica. Outro fator que pode ter favorecido é a variabilidade granulométrica, que influenciou na trabalhabilidade, resultando em bons valores de consistência.

Destaca-se dentre os ensaios realizados, o resultado dos ensaios de resistência à abrasão utilizando o resíduo pó de vidro, principalmente com a resina da MBS. Os resultados indicaram uma boa resistência à abrasão quando empregado o resíduo, ainda mais quando comparado com o resultado do traço original da fabricante. Desse modo, é possível aplicar esse tipo de resíduo em matrizes de resina epóxi para o uso como revestimento de pisos de concreto em ambientes industriais que demandem uma maior abrasão, como em fábricas automotivas e galpões logísticos.

Da mesma forma, o resíduo talco de pedra-sabão apresentou resultados satisfatórios na sua utilização, atingindo pelo menos 50% de substituição do agregado original. Para a construção civil, isso pode ser benéfico de forma a reduzir o preço das resinas empregadas e prover uma melhor destinação dos resíduos, além de manter as características originais dos fabricantes. Pois, como demonstrado pelos ensaios, os resultados com o resíduo de pedra-sabão atingiram valores semelhantes e até superiores aos traços originais dos fabricantes. Sendo que em alguns ensaios, a proporção de substituição chegou em até 95%.

Baseado nos resultados obtidos, os resíduos estudados neste trabalho apresentaram uma boa efetividade de substituição dos agregados das resinas. Isso se deve ao fato de que através do perfil de usabilidade, o menor teor resultante foi de substituição de 50%. Além disso, para os perfis indicados para a resina de cada fabricante junto aos resíduos, os ensaios apresentaram resultados satisfatórios, atingindo valores semelhantes ao traço original ou até superando os valores característicos.

Nessa perspectiva, percebeu-se que com a aplicação dos resíduos nos teores de substituição dos perfis de usabilidade, que as propriedades das matrizes de resina epóxi se mantiveram ou até mesmo melhoraram com a aplicação dos resíduos. Isso evidencia a possibilidade da substituição de parte dos agregados, a fim de manter o desempenho das matrizes ou melhorá-las em algumas propriedades específicas, como mencionado anteriormente.

Do mesmo modo, foi possível contribuir com a literatura a respeito da aplicabilidade de resíduos incorporados em matrizes de resina epóxi. Pois, como não

há muitos estudos nessa área, foi possível demonstrar a possibilidade de realização de tal feito. Além disso, foi possível comparar os resultados apresentados entre resinas de formulação nacional e internacional. Sendo essa comparação realizada entre cada ensaio e resíduo utilizado. Através dos resultados, percebeu-se que a resina de formulação nacional apresenta características similares à resina de formulação internacional.

Dentre as limitações encontradas no trabalho, quanto aos ensaios realizados, seria necessário realizar demais ensaios mais investigativos, como o ensaio de viscosidade para corroborar com a consistência e o ensaio com abrasímetro Amsler para auxiliar o ensaio de resistência à abrasão, a fim de comprovar efetivamente características levantadas.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a continuação dos ensaios com as resinas e resíduos estudados neste trabalho. Iniciando com a aplicação dos traços com teores ótimos avaliados, para realizar ensaios específicos do uso de um revestimento. Dentre esses ensaios, avaliar a resistência térmica dos traços, além da análise de resistência superficial, com uma aplicação em campo, avaliando a efetividade do traço estudado. Também se recomenda a avaliação da resistência térmica das matrizes de resina epóxi com o resíduo de pedra-sabão, visto que se observou grandes potenciais. Desse modo, um trabalho concluído é aquele que se realiza de fato, por isso, busco a implementação deste estudo para novos tipos de revestimento de piso.

REFERÊNCIAS

ABREU, Mariane M. S. P. D. **Preparação e caracterização de compósitos híbridos de talco e resina epóxi-anidrido**. Universidade de São Paulo. Lorena, p. 111. 2014. (CDU 678.7).

AMERICAN JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH. **Simplex Lattice Method: A Predictive Tool for Concrete Materials**. Abubakar Tafawa Balewa University. [S.I.], p. 9. 2017. (e-ISSN: 2320-0847; p-ISSN : 2320-0936).

ANAPRE. Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho. **ANAPRE**, 2004. Disponível em: <<https://site.anapre.org.br/>>.

ANAPRE. Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho. **Revestimentos de alto desempenho sobre pisos industriais**, São Paulo, 8 fev. 2022. 1.

ANTÔNIO, Aline P. **Potencialidades do aproveitamento do resíduo de estação de tratamento de efluentes do processo de lapidação do vidro sodo – cálcico na produção de concretos**. 2012. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14050: Sistemas de revestimento de alto desempenho, à base de resinas epoxídicas e agregados mineirais - Projeto, execução e avaliação do desempenho - Procedimento**. Rio de Janeiro. 1998.

BNDES. **Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil**. Rio de Janeiro. 2007.

BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT. Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de rejeitos na construção civil. **Brazilian Journal of Development**, p. 15, 2020.

CANEVAROLO JR., Sebastião V. **Ciência dos polímeros**. 2^a. ed.

CÍNTIA MADUREIRA ORTH, Nelma B. C. T. Z. A geração de resíduos sólidos em um processo produtivo de uma indústria automobilística: uma contribuição para a redução. **Gestão e Produção**, 2014. 13.

COTA, T.G.; REIS, E.L.; R.M.F. LIMA, R.A.S. C. **Incorporation of waste from ferromanganese alloy manufacture and soapstone powder in red ceramic production**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2018.

DIVINAL VIDROS. Divinal Vidros. **Divinal Vidros**, 2018. Disponível em: <<https://www.divinalvidros.com.br/blog/como-e-feito-o-vidro-fabricacao>>.

DUPOL. DUPOL. **DUPOL**, 2022. Disponível em: <<https://www.lojadupol.com.br/>>.

ELLIS, Bryan. **Chemistry and technology of epoxy resins**.

ESTACECHEN; CECILIO, Tatiana A. Comparativo da resistência à compressão do concreto através de ensaios destrutivos e não destrutivos. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 12, n. 2, p. 01-08, jul. 2020. ISSN ISSN 2318-6127.

FERNANDO SARTI, Célio H. Desenvolvimento industrial no Brasil: oportunidades e desafios futuros. **Texto para discussão. IE/Unicamp**, Janeiro 2011. 41.

FILHO, Cláudio M. C.; COSTA, Darlan I. **Utilização do porcelanato e da resina epóxi no revestimento de piso: um comparativo econômico**. Maceió. 2017.

FLORY, Paul J. **Principles of polymer chemistry**.

FRANCIS, A.A. et al. **Crystallization kinetic of glass particles prepared from a mixture of coal ash and soda-lime cullet glass**. Central Metallurgical Research and Development Institute (CMRDI). Cairo. 2004.

GORNI, Antonio A. A evolução dos materiais poliméricos ao longo do tempo. **Revista Plástico Industrial**, p. 12, 2003.

GRUPO ATIVE. **Preparação de amostras para ensaio de Difração de Raios-X (DRX)**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2022.

IRFAN, M.H. **Chemistry and technology of thermosetting polymers in construction applications**.

LEE, Henry; NEVILLE, Kris. **Handbook of epoxy resins**.

LIMA, José D. D. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**.

LUUKKONEN, Tero et al. **Alkali-activated soapstone waste - Mechanical properties, durability, and economic prospects**. Universidade de Oulu. Oulu. 2019.

MASSON, Terezinha J. et al. **Resinas Epoxídicas na Construção Civil: Estudo de pisos epoxídicos. Epoxy Resins in Civil Construction: Study of Epoxidic Floors**. Vila Real: SHEWC. 2017. p. 5.

MASTER BUILDERS SOLUTIONS. **MASTERTOP 1230 - Revestimento Epóxi Autonivelante de Alto Desempenho**. MBCC GROUP. [S.I.], p. 7. 2022.

MOREIRA, Anabela M. **Materiais Compósitos**.

OLIVEIRA, Melissa R. D. S. **História e teoria da arquitetura, urbanismo e paisagismo I**.

OLIVEIRA, Paola C. R. D. **Revestimento monolítico de alto desempenho: estudo comparativo entre aplicação de resina metil metacrilato (MMA) e pintura com resina epoxídica a substrato de concreto**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 100. 2017.

RATNA, Debdatta. **Handbook of thermoset resins**.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 307. [S.I.]: [s.n.]. 5 julho 2002.

RODRIGUES, Michael L. M. **Caracterização tecnológica de resíduos de oficinas de artesanato de pedra sabão da região de Ouro Preto**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 120. 2010.

RODRIGUES, Michael L. M.; LIMA, Hernani M. **Cleaner production of soapstone in the Ouro Preto region of Brazil: a case study**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2012.

ROGERS, G.; BADHAM, L. **Evaluation in the management cycle**. 1ª. ed.

ROSA, B. N. et al. A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente. **XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 12, 2005.

SANTOS, Rita C. P.; SOUSA, Wilson T.; LIMA, Hernani M. **Estudo da pedra-sabão na região de Ouro Preto - MG**. Ouro Preto. 2009.

SCHEFFÉ, Henry. **Experiments with mixtures**. 2. ed.

SILVA, Jéssica P. V. D. S. **Vidro estrutural: caracterização do material e estudo de caso**. João Pessoa. 2017.

SILVA, Luan B.; EMILIANO, Jerdery M. **Sistemas de esquadrias: relação custo e benefício**. Tubarão. 2017.

SINDUSCONSP. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: Avanços institucionais e melhores técnicas**. São Paulo. 2015.

TASCA, Barbara N. S. et al. Biodeterioração do monumento ao cristo redentor. **XXV Jornada de Iniciação Científica e I Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**, Rio de Janeiro, 2017. 6.

TOTAL REVESTIMENTOS INDUSTRIAIS. **Total Pox AN 2.5**. Total Revestimentos Industriais. Descalvado, p. 2. 2022.

VALLE, C.E. **Qualidade ambiental: Como ser competitivo protegendo o meio ambiente: (como se preparar para as normas ISO 14000)**. São Paulo. 1995.

APÊNDICE A – ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

A.1 – MASTER BUILDERS SOLUTIONS COM TALCO

Nº do plano de experimento	Nomenclatura	Ensaio de aderência à tração (MPa)					
		I	II	III	IV	V	$\bar{X}$
4	MBS-T1	0,12	0,25	0,27	0,09	-	0,18
		A/B	A/B	A/B	A/B	-	
8	MBS-T2	0,62	0,50	0,54	0,09	-	0,44
		A	A	A/B	A/B	-	
2	MBS-T3	0,09	0,53	0,58	0,55	0,10	0,37
		A/B	A	A	A	A/B	
3	MBS-T4	0,06	0,48	0,57	-	-	0,37
		A/B	A	A	-	-	
9 C	MBS-T5	0,47	0,55	0,10	0,52	-	0,41
		A	A	A/B	A	-	
6	MBS-T6	0,54	0,57	0,32	0,64	0,58	0,53
		A	A	A/B	A	A/B	
5	MBS-T7	0,57	0,57	0,61	0,56	-	0,58
		A	A	A	A	-	
1	MBS-T8	0,23	0,48	0,32	0,70	-	0,43
		A/B	A	A/B	A	-	
10 C	MBS-T9	0,62	0,62	0,53	0,69	0,58	0,62
		A	A	A	A	A	
5	MBS-T10	0,64	0,65	0,68	0,76	0,63	0,67
		A	A	A	A	A	
Referência (traço original)	MBS-R	0,60	0,25	0,69	0,72	-	0,57
		A	A	A	A	-	

A.2 – TOTAL REVESTIMENTOS INDUSTRIAIS COM TALCO

Nº do plano de experimento	Nomenclatura	Ensaio de aderência à tração (MPa)					
		I	II	III	IV	V	$\bar{X}$
4	T-T1	0,24	0,44	0,73	0,66	0,58	0,53
		A	A	A	A	A	
8	T-T2	0,77	0,61	0,64	-	-	0,67
		A	A	A	-	-	
2	T-T3	0,61	0,74	0,74	0,67	0,68	0,69
		A	A	A	A	A	
3	T-T4	0,77	0,70	0,80	0,52	0,59	0,68
		A	A	A	A	A	
9 C	T-T5	0,62	0,69	0,73	0,74	-	0,70
		A	A	A	A	-	
6	T-T6	0,55	0,62	0,68	0,54	0,76	0,63
		A	A	A	A/B	A	
5	T-T7	0,71	0,65	0,61	0,61	0,64	0,64
		A	A	A	A	A	
1	T-T8	0,61	0,65	0,60	0,73	-	0,65
		A	A	A	A	-	
10 C	T-T9	0,66	0,72	0,62	0,69	0,65	0,67
		A	A	A	A	A	
5	T-T10	0,65	0,56	0,69	0,70	-	0,65
		A	A	A	A	-	
Referência (traço original)	T-R	0,47	0,52	0,62	0,57	0,57	0,55
		A	A	A	A	A	

A.3 – MASTER BUILDERS SOLUTIONS COM PÓ DE VIDRO

Nº do plano de experimento	Nomenclatura	Ensaio de aderência à tração (MPa)					
		I	II	III	IV	V	$\bar{X}$
4	MBS-V1	0,68	0,65	0,60	0,80	-	0,68
		A	A	A	A	-	
8	MBS-V2	0,62	0,61	0,64	0,65	0,59	0,62
		A	A	A	A	A	
2	MBS-V3	0,63	0,55	0,56	0,69	0,63	0,61
		A	A	A	A	A	
3	MBS-V4	0,47	0,57	0,60	0,54	0,62	0,56
		A/B	A	A	A	A	
9 C	MBS-V5	0,71	0,80	0,63	0,68	-	0,71
		A	A	A	A	-	
6	MBS-V6	0,68	0,61	0,66	0,62	0,66	0,65
		A	A	A	A	A	
5	MBS-V7	0,80	0,65	0,49	0,70	0,73	0,67
		A	A	A	A	A	
1	MBS-V8	1,04	0,86	0,78	-	-	0,89
		A	A	A	-	-	
10 C	MBS-V9	0,66	0,77	0,66	0,67	-	0,69
		A/B	A	A	A	-	
5	MBS-V10	0,40	0,81	0,67	0,64	0,40	0,58
		A	A	A	A	A	
Referência (traço original)	MBS-R	0,60	0,25	0,69	0,72	-	0,57
		A	A	A	A	-	

A.4 – TOTAL REVESTIMENTOS INDUSTRIAIS COM PÓ DE VIDRO

Nº do plano de experimento	Nomenclatura	Ensaio de aderência à tração (MPa)					
		I	II	III	IV	V	$\bar{X}$
4	T-G1	0,52	0,62	0,57	0,57	0,61	0,58
		A	A	A	A	A	
8	T-G2	0,65	0,77	0,70	-	-	0,71
		A	A	A	-	-	
2	T-G3	0,82	0,90	0,81	-	-	0,84
		A	A	A	-	-	
3	T-G4	0,77	0,66	0,77	0,78	-	0,75
		A	A	A	A	-	
9 C	T-G5	0,73	0,49	0,42	0,65	0,35	0,53
		A	A/B	A/B	A	A	
6	T-G6	0,60	0,59	0,50	0,09	0,57	0,47
		A	A	A	A/B	A	
5	T-G7	0,63	0,67	0,61	0,83	0,75	0,70
		A	A	A	A	A	
1	T-G8	0,67	0,60	0,65	0,67	0,62	0,64
		A	A	A	A	A	
10 C	T-G9	0,60	0,60	0,60	0,56	0,65	0,60
		A	A	A	A	A	
5	T-G10	0,57	0,64	0,63	0,58	0,71	0,63
		A	A	A	A	A	
Referência (traço original)	T-R	0,47	0,52	0,62	0,57	0,57	0,55
		A	A	A	A	A	

ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO MASTERTOP 1230



MASTERTOP® 1230

Revestimento Epóxi Autonivelante de Alto Desempenho.

Descrição do Produto

O MasterTop® 1230 é um revestimento epóxi de alto desempenho, autonivelante, que pode ser aplicado com espessura de 1,5 a 4,0 mm em substratos de concreto (novo ou danificado).

Componentes do Sistema

- MasterTop® 1200 A4: Resina Epóxi (Líquido Viscoso Esbranquiçado);
- MasterTop® 1200 B4: Agente de Cura (Líquido de cor Ambar a Amarelado);
- MasterTop® F2: Carga Mineral (Agregado de coloração levemente amarelada);
- MasterTop® X4: Pigmento (Líquido Viscoso na cor RAL ou Munsell);

Campos de Aplicação

É indicado para as mais diversas aplicações, tais como:

- Corredores e áreas de circulação;
- Estacionamentos cobertos;
- Ambientes logísticos;
- Ambientes de armazenagem;
- Pisos de edifícios comerciais;
- Pisos de edificações industriais;
- Indústrias;
- Galpões;
- Hospitais;
- Laboratórios;
- Supermercados;
- Shopping centers;
- Lojas e escritórios;
- Concessionárias.

Propriedades e Benefícios

- Aplicação rápida e simples;
- Alta resistência e durabilidade;
- Facilidade de manutenção e de limpeza;
- Aspecto decorativo - superfície brilhante;
- Isento de solventes;
- Fácil de misturar e aplicar;
- Atende aos padrões da norma NBR 14050.

Embalagem

- MasterTop® 1200 A4: Bombona plástica de tampa branca com 5,4 kg de produto;
- MasterTop® 1200 B4: Bombona plástica de tampa azul com 3,0 kg de produto;
- MasterTop® F2: Saco plástico com 25,0 kg de produto;
- MasterTop® X4: Frascos plásticos com pesos diversos (de 0,2 a 0,8 kg) dependendo da cor.

Cores Disponíveis

As cores disponíveis são baseadas nos padrões Munsell e RAL.

Consulte o coordenador de vendas ou representante local da Master Builders Solutions para maiores detalhes.

Base Química

Epóxi

MASTERTOP® 1230

Revestimento Epóxi Autonivelante de Alto Desempenho.

Sistemas e Consumos

COMPONENTE DO SISTEMA	PRODUTO				Relação de Mistura ² (Resina: Carga)	Consumo
	MasterTop 1200 A4	MasterTop 1200 B4	MasterTop 1200 X4 ¹	MasterTop F2		
Padrão	5,4 kg	3,0 kg	-	4 kg	1:0,48	350 a 400 g/m ²
Primer	MasterTop P203 ³	Primer bi-componente, pronto para uso. Consultar a ficha técnica do MasterTop® 2300 para maiores informações.				350 a 400 g/m ²
Substratos ⁴ Irregulares	5,4 kg	3 kg	-	7 kg	1:0,83	950 a 1000 g/m ²
1,5 mm	5,4 kg	3 kg	1 frasco	8,0	1:0,96	1,2 a 1,3 kg/m ² /mm
Capa	5,4 kg	3 kg	1 frasco	11,6	1:1,38 ⁵	1,6 a 1,7 kg/m ² /mm
4,0 mm	5,4 kg	3 kg	1 frasco	12,6	1:1,50 ⁵	1,6 a 1,7 kg/m ² /mm

¹ Para cada kit de MasterTop® 1200A4 + MasterTop® 1200B4 usar um frasco completo de MasterTop® 1200X4, lembrando que dependendo da cor, a quantidade será diferente

² Partes em peso

³ Primer bi-componente pronto para uso bastando apenas a mistura das duas partes. Indicado como alternativa ao primer padrão.

⁴ Primer indicado no caso de substratos com elevada rugosidade

⁵ Sem levar em consideração na quantidade de resina, a quantidade relativa ao pigmento

Propriedades dos Componentes

Base Química	MasterTop 1200 A4	MasterTop 1200 B4	MasterTop 1200 A4+B4	MasterTop F2
Base Química		Resina Epóxi		Areia de quartzo
Densidade (g/cm ³) – 23°	1,115 – 1,135	1,010 – 1,050	1,070 – 1,110	n.a
Teor de VOC	63 g/L	520 g/L	4,9%	n.a

Propriedades Físicas e Mecânicas

PROPRIEDADE	Relação de mistura (Resina: Carga)		
	1 : 0,96	1 : 1,38	1 : 1,50
Densidade, g/cm ³	1,52	1,64	1,7
Viscosidade, cPs	4600	5000	6700
Potlife, minutos (23°C)	~ 40	~ 40	~ 40
Gel time, minutos (23°C)	95	102	113
Secagem ao toque, horas (23°C)	~ 7	~ 7	~ 7
Dureza Shore D	80	80	80
ABNT NBR 14050			
Tensão de aderência (MPa)	> 3,3 ⁶	> 3,0 ⁶	> 2,8 ⁶
ABNT NBR 14050			
Abrasão Taber, (Perda de massa, g) 1000 ciclos, 1000g, CS17, ABNT NBR 14050	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Resistência à compressão, MPa (7 dias)	53	55	56
Resistência ao calor, °C (7 dias)	52	52	52
Brilho, Gloss Meter (24 Horas)	≥ 93	≥ 93	≥ 93

⁶ Ruptura 100% do substrato. Resultado obtido sem auxílio de primer

MASTERTOP® 1230

Revestimento Epóxi Autonivelante de Alto Desempenho.

Resistência Química

Resistente ao contato esporádico com óleo de motor, gasolina e produtos de limpeza. Para maiores informações consulte o nosso departamento técnico.

Aplicação do Produto

O sistema MasterTop® 1230 é de fácil aplicação, contudo, para assegurar que todas as características técnicas do sistema, o sistema deve ser instalado por aplicadores qualificados e devidamente treinados por nossa equipe técnica.

Sugerimos que sempre seja feita uma amostra de 3m x 3m antes de ser realizada a compra, para avaliar o revestimento quanto à aparência, efeito antiderrapante, desempenho e aprovação dos envolvidos.

Abaixo descrevemos apenas um resumo das técnicas de instalação recomendadas pela Master Builders Solutions.

Para maiores informações e detalhes técnicos, consultar nossos coordenadores de vendas ou equipe técnica.

Preparo da Superfície

Substratos de Concreto

O substrato deve apresentar resistência à tração mínima de 1,0 MPa e resistência à compressão mínima de 25 MPa. Deve estar limpo, seco (umidade máxima de 4,0%), sem poeira, isento de graxa, óleos, asfalto ou restos de pinturas anteriores. Não se deve aplicar MasterTop® 1230 em substratos que apresentem exsudação, umidade acima de 4,0 % ou com possibilidade de pressão negativa de vapor d'água, devido a lençol freático e outros, pois o sistema não é respirável.

Em substratos de concreto a limpeza da superfície deve ser realizada mecanicamente por jato abrasivo ou equipamento de escarificação a fim de remover a nata de cimento e contaminações, assim como criar uma superfície rugosa.

Concreto de baixa resistência ou despiacados deve ser removido e vazios devem ser identificados. Reparos no concreto preenchimento de vazios, etc, devem ser realizados com produtos apropriados das linhas MasterFlow® e/ou MasterEmaco®. Grandes Imperfeições e sa-

liências no piso devem ser removidas. Toda a poeira suja e material solto deve ser completamente removido antes da aplicação do produto.

Certifique-se que a temperatura do substrato durante a aplicação esteja entre 10° e 30°C.

Preparo do Produto

Os procedimentos a seguir são aplicáveis para preparação do primer e do revestimento autonivelante.

Os produtos MasterTop® 1200 A4; MasterTop® 1200 B4 e MasterTop® 1200 X4 são fornecidos nas proporções adequadas para a mistura dos componentes, restando apenas adicionar a quantidade correta de MasterTop® F2, dependendo do tipo de primer a ser utilizado e da espessura desejada do revestimento autonivelante, conforme indicado na tabela de sistemas e consumos.

Antes do preparo do produto homogeneize cada um dos componentes líquidos por agitação antes de adicioná-los ao recipiente de mistura.

Coloque o MasterTop® 1200 A4 previamente homogeneizado num recipiente estanque, seco e limpo. Adicione o MasterTop® 1200 X4, quando necessário, e em seguida acrescente o MasterTop® 1200 B4. Misture durante 1 minuto usando um equipamento de mistura de baixa rotação. A seguir adicione a quantidade necessária de MasterTop® F2 e misture mais 2 a 3 minutos garantindo a homogeneidade da mistura.

Evite misturar em excesso para minimizar a incorporação de ar.

Aplicação

No momento da aplicação, o substrato e o produto recém misturados devem estar numa temperatura de pelo menos 3,0°C acima do ponto de orvalho, com a finalidade de evitar o risco de condensação.

A sequência de aplicação descrita abaixo é baseada em condições ideais de aplicação. Para substratos irregulares ou com condições especiais, consultar o nosso Departamento Técnico

Primer

O primer tem o objetivo de garantir uma boa aderência ao substrato e evitar o aparecimento de bolhas no revesti-

MASTERTOP® 1230

Revestimento Epóxi Autonivelante de Alto Desempenho.

mento. Logo após a preparação do produto, aplique o primer espalhando-o com ajuda de uma desempenadeira metálica lisa, num consumo de 350 a 400g/m² no caso do primer padrão e 950 a 1000g/m², no caso de ser utilizado o primer para substratos irregulares.

Aguarde a secagem do primer durante no mínimo 8 horas e no máximo 24 horas antes da aplicação do revestimento autonivelante.

Revestimento Autonivelante

Logo após o preparo do produto, espalhe-o na superfície usando uma desempenadeira metálica dentada (semilhada) própria para revestimentos autonivelantes de 1,5 a 4 mm de espessura. Imediatamente depois, passar um rolo fura bolhas em duas direções cruzadas de forma a garantir o nivelamento adequado do produto, garantir uma espessura uniforme, retirar todo o ar da mistura e evitar o aparecimento de defeitos na superfície.

Cura

Os tempos são determinados em temperatura de 25°C e umidade de 50%.

Cura Total: 7 dias

Tempo de espera entre o primer e a capa:

Mínimo 8 horas
Máximo 24 horas

Liberação para o tráfego de pessoas:

24 horas após a aplicação da capa.

Liberação para o tráfego Pesado:

48 horas após a aplicação da capa.

Observações e Limitações

- O cliente e/ou o projetista, devem discutir com o aplicador os detalhes das juntas antes do início dos trabalhos;
- O substrato deve estar estruturalmente sã, limpo, seco e livre de qualquer material que possa prejudicar a aderência;
- A uniformidade de cor pode não ser completamente garantida de lote para lote. Não misture lotes em uma mesma área;

- Não exponha o **MasterTop® 1230** a ações químicas antes de completamente curado: 7 dias a 24°C;
- Não aplicar em áreas com incidência direta do sol e ventos durante a aplicação para se evitar a diminuição do Pot Life e o aparecimento de bolhas, marcas de rolo de desempenadeira. Se necessário, realizar a aplicação em período noturno para evitar temperaturas elevadas e utilização de lonas para evitar correntes de vento;
- Não deixar o material parado no balde, pois o pot-life (tempo de trabalhabilidade) é drasticamente reduzido;
- Não aplicar quando a umidade relativa do ar estiver acima de 85%;
- Durante a aplicação proteja o substrato de qualquer condensação ou vazamentos de líquidos;
- Certificar-se que os componentes não estejam com temperatura superior a 30°C.
- Para melhores resultados aplique o **MasterTop® 1230** em temperaturas ambiente e do substrato entre 15° a 25° C. O produto curará adequadamente numa ampla faixa de temperaturas, contudo, uma aparência ótima será mais facilmente atingida em condições ótimas de aplicação;
- Não aplicar sobre substratos com temperaturas inferiores a 10°C ou superiores a 30°C;
- Não aplique diretamente sobre revestimentos de argamassa não reforçada, asfalto, substratos betuminosos, piso cerâmico esmaltado ou não poroso ou alumínio. Para ótimo desempenho, aplique diretamente sobre o concreto;
- A espessura do revestimento está diretamente relacionada com a sua resistência ao impacto e abrasão, sendo maior, quanto maior a espessura de aplicação do **MasterTop® 1230**;
- Não aplicar sobre pisos com possibilidade de pressão negativa de vapor d'água, devido a lençol térmico e outros;
- Proteger o produto aplicado da umidade ou condensação de água durante pelo menos 24 horas;
- Assegure a ventilação adequada do espaço;

MASTERTOP® 1230

Revestimento Epóxi Autonivelante de Alto Desempenho.

- Sob ação direta da luz solar pode acontecer descoloração e mudança de cor, porém, sem influência no desempenho do revestimento;
- Não utilizar agregado úmido;
- Respeitar as relações de mistura indicadas nesta ficha técnica, para se obter as propriedades esperadas do produto;
- Se necessário, os fracionamentos deverão ser feitos em peso usando uma balança;
- Não adicionar solventes ou qualquer outro produto não indicado no presente documento;
- A correta aplicação do revestimento **MasterTop® 1230** é responsabilidade da empresa de aplicação. Eventuais visitas realizadas pelos técnicos ou coordenadores da Master Builders Solutions, tem como propósito realizar recomendações técnicas e não supervisionar ou prover controle de qualidade em campo;

Manuseio

Utilizar EPI's adequados. Evitar o contato com a pele e olhos. Não beber, comer ou fumar durante o manuseio; lavar as mãos antes de uma pausa ou depois do trabalho.

Limpeza das Ferramentas

As ferramentas e materiais utilizados devem ser limpos com solvente para epóxi imediatamente após o uso. Após a cura, o material somente poderá ser removido mecanicamente.

Armazenagem

Deverá ser armazenado em temperatura entre 15°C e 25°C. Temperaturas mais baixas poderão causar a cristalização do material. Não usar ar pressurizado para agitação.

Segurança

Consulte a Ficha de segurança (FISPQ) de cada um dos produtos. Em qualquer caso, é recomendável aplicar as precauções normais para manuseio de produtos químicos (Por exemplo, usar luvas e óculos de segurança).

Informações Complementares

As informações aqui mencionadas são baseadas não somente em ensaios laboratoriais, mas também na experiência de campo. No entanto, devido a diversos fatores que possam afetar os resultados na aplicação em campo, oferecemos estas informações sem garantia e sem nenhuma responsabilidade assumida.

Para esclarecimento de dúvidas, contate seu representante local da Master Builders Solutions.

GARANTIA

A Master Builders Solutions garante que este produto está isento de defeitos de fabricação e satisfaz os requisitos técnicos e as propriedades contidas nesse boletim técnico atual, quando utilizado dentro do prazo. Os resultados não dependem só do produto, mas também de muitos fatores além de nosso controle, tais como (armazenagem, aplicação, condições climáticas e etc...).

NÃO REALIZAMOS NENHUMA GARANTIA, GARANTIA EXPRESSA, IMPLÍCITAS, INCLUINDO GARANTIAS DE COMERCIALIZAÇÃO OU ADEQUAÇÃO A PARTICULARES COM RESPEITO ÀS SEUS PRODUTOS.

O único e exclusivo recurso de compra para qualquer reclamação relativa a este produto, incluindo, mas não se limitando as, alegações, descumprimentos da garantia, negligência, responsabilidade ou de outra forma, é a substituição do reembolso do preço de compra, a única opção da Master Builders Solutions. Quaisquer reclamações relativas a este produto devem ser recebidas por escrito no prazo de um (1) ano da data de venda e quaisquer alegações não apresentadas dentro desse período são de responsabilidade do comprador.

A Master Builders Solutions **NÃO SERÁ RESPONSÁVEL POR QUAISQUER DANOS ESPECIAIS, INCIDENTAIS, CONSEQUENCIAIS (INCLUINDO LUCROS) OU DANOS PUNITIVOS DE QUALQUER TIPO.** O comprador deve determinar a adequação do produto para o uso pretendido e assume todos os riscos e responsabilidades relacionados com o mesmo.

Esta informação e todos os outros conselhos técnicos baseiam-se nos conhecimentos atuais da Master Builders Solutions e experiência. A Master Builders Solutions reserva-se o direito de mudanças de acordo com o progresso tecnológico ou outros desenvolvimentos.

O comprador do (s) produto (s) deve (m) testar o (s) produto (s) para a aplicação pretendida e finalidade antes de

MASTERTOP® 1230

Revestimento Epóxi Autonivelante de Alto Desempenho.

proceder a uma aplicação integral dos produtos. O desempenho do produto descrito deve ser verificado por meio de testes realizados por peritos qualificados.

MASTERTOP® 1230

Revestimento Epóxi Autonivelante de Alto Desempenho.

Os dados mencionados nesta ficha técnica são baseados em provas de laboratório cuidadosamente controladas. Possíveis variações podem ocorrer dentro de limites considerados razoáveis, no entanto recomendamos que o cliente realize testes prévios em suas condições específicas para possíveis ajustes, caso necessário. Em caso de dúvidas, consulte nosso Departamento Técnico.

Master Builders Solutions Brasil
Rua Costa Barros, 3.089,
Vila Prudente, 03210-001, São Paulo, Brasil
Tel: (11) 3164-4277
E-mail: sac.eb@mail.mbcc-group.com
www.master-builders-solutions.com/pt-br

ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO TOTAL AN 2.5



TOTAL POX AN®

Revestimento autonivelante epóxi

Descrição

TOTAL POX AN® é um composto tricomponente, a base de resina epóxi e carga mineral, de característica autonivelante. Produto que proporciona um revestimento de alto apelo estético além de proteção química e física.

Versões

TOTAL POX AN® 2500

Revestimento para atingir espessura de 2,5 mm.

TOTAL POX AN® 4000

Revestimento para atingir espessura de 4,0 mm.

Indicações

- Concessionárias;
- Indústria de alimentos;
- Indústria química e farmacêutica;
- Indústria automobilística;
- Hospitais;
- Etc.

Vantagens

- Alta resistência física e química;
- Impermeável;
- De fácil limpeza;
- Aspecto agradável;
- Etc.

Informativo técnico

Propriedades a 25°C	TOTAL POX AN® 2500	TOTAL POX AN® 4000
Aspecto	Líquido Viscoso	Líquido Viscoso
Densidade	1,600 g/cm³ ± 0,100	1,900 g/cm³ ± 0,100
Sólidos por Peso	95% ± 2	95% ± 2
Tempo de manuseio	20 – 30 minutos	20 – 30 minutos
Liberção de Tráfego	48 horas	48 horas
Cura Final	7 dias	7 dias
Composição	Resina epóxi	Resina epóxi

Aplicação

Substrato

O substrato deve estar livre de fissuras, recalque, resistência a abrasão demasiadamente fraca e qualquer contaminante que possa interferir na aderência tais como óleo, graxa etc. O substrato deve passar por um processo de preparo mecânico ou limpeza química para receber a cobertura de TOTAL POX AN®.

Imprimação

Para Imprimação utilizar TOTAL PRIMER®, o mesmo deve ser aplicado com o substrato totalmente livre de pó, para aplicação utilizar desempenadeira lisa e posteriormente rolos de cerdas curtas, é importante que o substrato esteja completamente selado, caso isto não ocorra, repita o processo até que o substrato seja totalmente selado.

Mistura

A mistura do produto deve ser feita através da utilização de equipamento mecânico apropriado, tipo misturador dotado com ferramenta helicoidal. Siga a seguinte ordem: misture o Componente A, adicione o Componente B ao componente A, e continue a misturar até sua perfeita homogeneização.

Espalhamento

Com um rodo dotado de dentes com espessura desejada espalhe o produto em uma única demão por toda a superfície e em seguida entre com o rolo fura bolha.

Para maior detalhamento da aplicação entrar em contato com o departamento técnico, tecnico@totalrevestimentos.com.br

Consumo

Espessura	TOTAL POX AN® 2500	TOTAL POX AN® 4000
2,50 mm	3,5 kg/m²	-
4,00 mm	-	7,60 kg/m²

Embalagens

Conjunto tricomponente:

TOTAL POX AN® 2500 15,00 kg;

TOTAL POX AN® 4000 20,00 Kg.

Armazenamento

Armazenar em local coberto, sem umidade e ventilado, sobre paletes e em temperatura inferior a 30°C.

Validade

Armazenado nas embalagens originais invioladas, o tempo de vida útil nominal do produto é de 12 meses a partir da data de fabricação.

Precauções

Não aplicar sobre substratos com temperaturas inferiores a 10°C ou superiores a 30°C. Por ser um produto base epóxi aromático, deve-se levar em conta que o produto irá amarelar e calcinar por efeitos dos raios UV. Deve-se assegurar que a impermeabilização contra umidade ascendente seja eficaz. Não aplicar o produto se o agregado estiver úmido. Não adicionar solventes ou qualquer outro produto que possa afetar as propriedades finais do sistema. Assegurar que houve o completo esvaziamento das embalagens assim como sua completa homogeneização.

Data de emissão: 2014

Revisão: 3

Revisado em: 18/07/2016

Páginas de 1 a 1

(19) 3583-5342 – atendimento@totalrevestimentos.com.br – www.totalrevestimentos.com.br

Rua Alcides Tiengo, 85 – Tamanduá – Descalvado-SP - 13690-000

Lêa atentamente a ficha de segurança antes de manipular o produto a mesma é adquirida através de nosso site www.totalrevestimentos.com.br.



Data de emissão: 2014

Revisão: 3

Revisado em: 18/07/2016

Páginas de 1 a 1

(19) 3583-5342 – atendimento@totalrevestimentos.com.br - www.totalrevestimentos.com.br

Rua Alcides Tiengo, 85 – Tamanduá – Descalvado-SP - 13690-000