



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**



RAFAEL DE AQUINO ALVARENGA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM
ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE TELA DE FIBRA DE VIDRO UTILIZADA
NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

VOLTA REDONDA

2023

RAFAEL DE AQUINO ALVARENGA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM
ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE TELA DE FIBRA DE VIDRO UTILIZADA
NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais compósitos e linha de pesquisa em materiais cerâmicos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cirlene Fourquet Bandeira

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

VOLTA REDONDA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

A161a Alvarenga, Rafael de Aquino

Desenvolvimento e caracterização de concreto com adição de resíduos de tela de fibra de vidro utilizada na construção civil. / Rafael Alvarenga de Aquino. - Volta Redonda: UniFOA, 2023.
58 p.: Il

Orientador (a): Prof.^a Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em
Materiais, 2023

1. Materiais - dissertação. 2. Reciclagem. 3. CP-V-RS. 4. Ensaios mecânicos. I. Bandeira, Cirlene Fourquet. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



RAFAEL DE AQUINO ALVARENGA


DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE TELA
DE FIBRA DE VIDRO UTILIZADA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cirlene Fourquet Bandeira

Co orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
“MESTRE EM MATERIAIS”


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM MATERIAIS

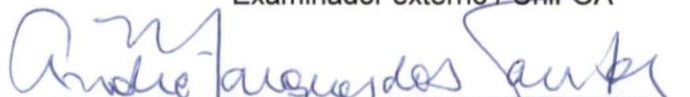

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof.^a Dr.^a Cirlene Fourquet Bandeira
Presidente / UniFOA


Profa. Dra. Ana Carolina Callegario Pereira
Examinador externo / UniFOA



Prof. Dr. André Marques dos Santos
Examinador externo / UFRRJ

Dezembro de 2023.

DEDICATÓRIA

Dedico à Deus, a todos os meus familiares e amigos!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais essa oportunidade, aos meus pais Jesus Caldeira de Alencar Alvarenga e Helena Aparecida Rodrigues de Aquino toda a ajuda e incentivo em minha educação. A minha esposa Ketlen Silvene do Nascimento Alvarenga, companheira de vida e mãe de meu filho João Miguel do Nascimento Alvarenga que esteve ao meu lado nessa caminhada. Sou grato pela confiança que minha orientadora, Dr.^a Cirlene Bandeira, depositou em mim, disponibilidade e ajuda no meu trabalho. Aos colegas e amigos que me ajudaram, e ao UniFOA e todos os Mestres, Doutores e Técnicos que dispuseram de seu tempo e conhecimento para me ensinar e que possibilitaram a conclusão dessa dissertação.

EPÍGRAFE

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano.”

Sir. Isaac Newton

ALVARENGA, R. A. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE TELA DE FIBRA DE VIDRO UTILIZADA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2023.

RESUMO

Uma série de novos materiais vem sendo empregados no setor de construção civil. Dentre eles as telas de fibra de vidro vêm se destacando como uma forma fácil, simples e de baixo custo para melhorar a resistência mecânica de estruturas de concreto armado ou auxiliar em reparos. Neste processo, uma quantidade considerável de material é descartada, gerando um grande passivo ambiental. No entanto, estes materiais podem ser reutilizados como parte de reforço em concreto de forma a melhorar sua resistência mecânica e reinserir o material no sistema produtivo, baixando o custo do produto e aumentando o valor agregado do resíduo. Sendo assim, o trabalho teve como objetivo realizar a inserção destes resíduos de tela de fibra de vidro picadas nas proporções de 0% (referência) e 3% m/m em concreto à base de cimento estrutural resistente à sulfatos (CP- V RS), usando traço nas proporções de: 1: 2: 2: 0,60 (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água) respectivamente, e verificar a performance dos mesmos através de análises termogravimétricas, FT-IR, granulometria, microscopia óptica, expansibilidade de *Le Chatelier*, tempo de início de pega, ensaio de abatimento e compressão uniaxial . Com isso, pode-se observar que a tela é manufaturada a partir de fibra de vidro tratada com uma resina poliestirênica cuja temperatura inicial de degradação é de 298,9 °C e que os resultados do material acrescido de resíduos de tela se apresentaram próximos aos do concreto de referência com resistência à compressão de 25 MPa com 28 dias de cura, indicando que o mesmo pode ser usado para aplicações não estrutural tais como bloco, pisos, etc. Desta forma, espera-se promover a reciclagem, tão importante no cenário atual.

Palavras-chave: Reciclagem; CP–V RS; Ensaios mecânicos; Passivo ambiental.

ALVARENGA, R. A. PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CONCRETE WITH INSERTION OF WASTE FROM ELECTRICAL INSULATORS. 2022. Dissertation (Professional Master's in Materials) – Oswaldo Aranha Foundation, Volta Redonda University Center, Volta Redonda, 2023.

ABSTRACT

A series of new materials have been used in the construction sector. Among them, fiberglass screens have stood out as an easy, simple and low-cost way to improve the mechanical resistance of reinforced concrete structures or assist in repairs. In this process, a considerable amount of material is discarded, generating a large environmental liability. However, these materials can be reused as part of concrete reinforcement in order to improve its mechanical resistance and reinsert the material into the production system, lowering the cost of the product and increasing the added value of the waste. Therefore, the aim of the work was to insert these chopped fiberglass mesh residues in proportions of 0% (reference) and 3% m/m into concrete based on sulfate-resistant structural cement (CP-V RS) , using mix in the proportions of: 1: 2: 2: 0.60 (cement, fine aggregate, coarse aggregate and water) respectively, and verify their performance through thermogravimetric analysis, FT-IR, granulometry, optical microscopy, expandability by Le Chatelier, onset time of setting, slump test and uniaxial compression. Therefore, it can be seen that the screen is manufactured from fiberglass treated with a polystyrenic resin whose initial degradation temperature is 298.9 oC and that the results of the material plus screen waste were close to those of the reference concrete with compressive strength of 25 MPa after 28 days of curing, indicating that it can be used for non-structural applications such as blocks, floors, etc. In this way, it is hoped to promote recycling, which is so important in the current scenario.

Keywords: Recycling; CP – VRS; Mechanical tests; Environmental liability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tela de fibra de vidro da marca Veerhuis.....	25
Figura 2. Pequenos pedaços da amostra da tela de fibra de vidro.....	25
Figura 3. Brita 1 com granulometria entre 9,5 mm a 19 mm.....	26
Figura 4. Areia utilizada como agregado miúdo.	26
Figura 5. Corpos de prova para ensaios de resistência à compressão.	30
Figura 6. Agulha de Le Chatelier	31
Figura 7. Aparelho de Vicat	25
Figura 8. Ensaio de Abatimento.	26
Figura 9. Prensa EMIC para ensaio de compressão Uniaxial	26
Figura 10. Ensaio de TGA da tela de fibra de vidro realizado em um STA da PerkinElmer.....	35
Figura 11. Resíduo de fibra de vidro após a análise de TGA	36
Figura 12. Espectro de FT-IR da tela <i>in natura</i> obtido pela técnica de UATR com torque de 80N	37
Figura 13. Espectro de FT-IR, por pirólise, sob célula de KBr, do resíduo da tela .	38
Figura 14. Espectro de FT-IR após pirólise pela técnica de filme fino sob célula de KBr onde A) representa o resíduo líquido da tela pirolisada e B) os Pellets de Poliestireno após pirolisados	39
Figura 15. Espectro de FT-IR obtido pela técnica de UATR onde A) representa obtido após ensaio e STA B) fibra de vidro	40
Figura 16. Areia analisada em microscópio Time IN com aumento de 100x	42
Figura 17. Areia analisada em microscópio OPTON com aumento de 100x	43
Figura 18. MEV do corpo de prova de referência com ampliação de a) 0x, b) 25x e c) 200x	47
Figura 19. MEV do corpo de prova de referência com ampliação de a) 0x, b) 25x e c) 200x	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Classificação dos cimentos Portland de acordo com a resistência a compressão e as principais características.....	19
Tabela 2.	Granulometria da areia (mm) referência. Erro! Indicador não definido.	
Tabela 3.	Granulometria da brita	21
Tabela 4.	Quantidade de materiais para traço 1: 2: 2: 0,60 em kg	29
Tabela 5.	Dosagem utilizada na pesquisa	29
Tabela 6.	Bandas da tela de fibra de vidro <i>in natura</i> por UATR.....	37
Tabela 7.	Granulometria do agregado graúdo	41
Tabela 8.	Granulometria do agregado miúdo	41
Tabela 9.	Ensaio de abatimento no concreto	44
Tabela 10.	Resultados ensaio compressão concreto Referência	45
Tabela 11.	Resultados ensaio compressão concreto Acrescido	46

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

a.C.	Antes de Cristo
AQI	Divisão de Química;
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials;</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente;
CP-V	Cimento Portland Tipo 5;
CTA	Centro Tecnológico da Aeronautica;
EIFS	<i>Exterior Insulation Finish Systems</i>
FC	Resistencia do concreto;
FCK	Resistencia característica do concreto a compressão;
FCM	Resistencia média do concreto a compressão;
FT-IR	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy;</i>
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço;
MeMat	Mestrado Profissional em Materiais;
MEV	Microscopia de Varredura Eletrônica;
NBR	Normas Técnica Brasileira;
NM	Normas do Mercosul;
O	Oxigênio;
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos;
Si	Sílica;
STA	<i>Simultaneous Thermal Analysis;</i>
TGA	<i>Thermalgravimetric analysis;</i>
UATR	<i>Universal Attenuated Total Reflectance.</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 CONCRETO	18
2.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	19
2.2.1 Cimento Portland	19
2.2.1.2 Cimento Portland Estrutural CP-V RS	20
2.2.2 Agregado Miúdo	20
2.2.3 Agregado Graúdo	21
2.2.4 Água	22
2.2.5 Aditivos	22
2.3. TELA DE FIVRA DE VIDRO	22
2.3.1 Fibra de vidro	22
2.3.2 Telas	23
2.4. RESÍDUOS	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. MATERIAIS.....	25
3.1.1 Resíduos de tela de fibra de vidro	25
3.1.2 Agregado Graúdo	26
3.1.3 Agregado Miúdo	26
3.1.4 Cimento	27
3.2. MÉTODOS.....	27
3.2.1 Análise Térmica Simultânea (STA)	27
3.2.2 Espectrometria de Absorção na Região do Infravermelho (FT-IR)	27

3.2.3 Granulometria dos Agregados	28
3.2.4 Microscopia óptica	28
3.2.5 Produção do concreto	29
3.2.6 Corpos de prova para ensaios de compressão	30
3.2.7 Expansibilidade de <i>Le Chatelier</i>	31
3.2.8 Tempo de Início e Fim de Pega	31
3.2.9 Ensaio de Abatimento	32
3.2.10 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)	33
3.2.11 Compressão Uniaxial	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS MATÉRIAS PRIMAS	35
4.1.1 Aspecto visual	35
4.1.2 STA	35
4.1.3 FT-IR	36
4.1.4 Granulometria	40
4.1.5 Microscopia Óptica	42
4.1.6 Expansibilidade de <i>Le Chatelier</i>	43
4.1.7 Início e Fim de Pega	43
4.1.8 Ensaio de Abatimento	44
4.1.9 Ensaio de Compressão Uniaxial	44
4.1.10 Microscopia de varredura eletrônica (MEV)	46
5. CONCLUSÕES	51
6. TRABALHOS FUTUROS	52
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O concreto, que basicamente é um material plástico, moldado para adquirir a forma desejada após o processo de endurecimento, com considerável aumento da resistência às solicitações, é conhecido desde os tempos antigos, datando de 4000 a.C. vestígios de construções, no Iraque, feitas parcialmente com este material (KAEFER, 1998; GAMBALE; POSSAN; HASPARYK, 2023).

Em sua composição vários materiais são contemplados, dentre eles, o principal é o cimento. Além destes, agregados graúdos, agregados miúdos e água também são usados, bem como aditivos visando melhorar seu tempo de pega, sua resistência mecânica e/ou química, de forma a se obter um bom tempo de trabalhabilidade com esse material de acordo com a sua aplicação e/ou uma resistência à compressão máxima após 28 dias de cura (BONIFÁCIO et al., 2014).

Com o passar dos séculos, várias mudanças foram realizadas nesta mistura, especialmente no cimento, para aquisição de produtos que atendessem as necessidades de sua aplicação, tais como o desenvolvimento do cimento hidráulico, realizado no início do século V a.C. e amplamente utilizado para revestir fontes atenienses até chegar ao modelo atual de cimento Portland (BONIFÁCIO et al.; KAEFER, 1998).

Apesar de sua grande durabilidade, baixo custo, boa resistência à compressão, o concreto de cimento Portland pode apresentar desvantagens tais como: baixa tenacidade, baixa ductibilidade, resistência à fadiga, compressão e aos impactos ruins. No entanto, estas características podem ser melhoradas mediante à adição de fibras em proporções adequadas, a composição usada (GAMBALE; POSSAN; HASPARYK, 2023; PERUZZI, 2007).

Dentre estas, a fibra de vidro tem se destacado, sendo amplamente estudada para aplicações em subsistemas construtivos tais como tubulações de água e esgoto, *shafts* e vedações, por suas características que proporcionam ao material compósito leveza e durabilidade (GAMBALE; POSSAN; HASPARYK, 2023; ORTENZI JR.,

2007). Além das fibras, são usadas telas deste mesmo material visando aumentar a resistência de algumas estruturas (CATEB, 2011; PERUZZI, 2007).

Estas telas, apesar de estruturalmente interessantes, acabam por gerar uma grande quantidade de resíduos provenientes dos recortes feitos para adequar o material na estrutura, que são descartados em lixões causando passivos ambientais indesejados (CATEB, 2011; ORTENZI JR., 2007; PERUZZI, 2007).

Tendo em vista esses problemas, este trabalho teve como objetivo, desenvolver um compósito de concreto acrescido de resíduos de telas de fibra de vidro na proporção de 3% m/m.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar produção de concreto a base de cimento Portland, com inserção de resíduos de tela de fibra de vidro na proporção, em massa, de 3%.

1.2.2 Objetivos específicos

- Reinsere na cadeia produtiva estes resíduos e realizar comparação com os dados do concreto convencional denominado referência.
- Realizar a caracterização química e morfológica.
- Verificando as propriedades mecânicas para análise de viabilidade de aplicação estrutural, de acordo com os parâmetros de um concreto convencionalmente utilizado.

1.3. JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica, ambientalmente, pela proposta de mitigar o despejo deste material em lixões, estimulando seu reaproveitamento e fazendo com que a reciclagem seja efetiva. Já no âmbito econômico, ele vem agregar valor a um resíduo,

movimentando o setor economicamente, especialmente dando emprego a fatia mais pobre da população. Além disso, atua no âmbito social visto que, melhora a qualidade da população do entorno.

Sendo assim, este trabalho se justifica social, ambiental e economicamente. Além disso, a reciclagem desse resíduo impulsiona a produção do compósito que vai necessitar de embasamento teórico, visando o desenvolvimento de um material confiável em aplicações variadas. Sendo assim esse trabalho se justifica no âmbito acadêmico também.

No entanto, vale ressaltar que apesar da existência de literaturas descrevendo a utilização de fibra de vidro com concreto, onde são expostos resultados satisfatórios, até onde se tem conhecimento, nenhum trabalho discorreu sobre o uso de resíduos de telas de fibra de vidro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCRETO

O concreto é um material compósito formado, principalmente, por cimento água e agregados (grãos e miúdos), muito utilizado na Engenharia Civil, devido as suas características como moldabilidade fácil, que permite o desenvolvimento de estruturas diversas em formas variadas, e resistência a compressão (COUTO et al., 2013; PIMENTA, 2022).

Materiais compósitos são aqueles formados pela combinação, em escala macroscópica de, no mínimo, dois materiais, cuja matriz (parte que protege o reforço que atua na sustentação e suporta as cargas aplicadas) pode ser cerâmica, polimérica ou metálica. Eles atuam como um único material com propriedades melhores que suas partes constituintes que dependem da ancoragem da matriz no reforço (BANDEIRA, 2011; COSTA, 2018).

Sendo assim, o concreto apresenta propriedades melhores que o cimento puro após curado. Dentre estas propriedades, se destaca a resistência à compressão que é plotada em curvas estatísticas de Gauss visando verificar parâmetros de extrema importância tais como: a média aritmética dos valores de resistência à compressão (F_{cm}) dos corpos de prova (F_c) para determinar a resistência característica de cada material ou F_{ck} cuja relação pode ser observada pela norma NBR 8953 (LIBÂNIO; CASSIANE; SANDRO, 2004; PIMENTA, 2022).

Esta resistência está relacionada a deformações sofridas pelo concreto e que podem ser causadas por fatores ambientais tais como umidade e variação de temperatura que causam retração ou variação do volume e deformação, que pode ser imediata, lenta, fluência e lenta recuperável (DE ALMEIDA, 2002; BASTOS, 2019).

Entretanto, vale ressaltar que devido a ancoragem irregular deste material que causa microfissuração progressiva entre o agregado grão e o cimento, o concreto, não apresenta, quando submetido a tensões, um comportamento linear. Além disso, seu coeficiente de dilatação térmica para o concreto armado é de $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (DE ARAÚJO, 2000; NBR 6118).

2.2. COMPOSIÇÃO DO CONCRETO

Conforme mencionado anteriormente, o concreto, é formado, basicamente, por quatro materiais: cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo.

Neste contexto, o cimento atua como matriz e preenche os espaços entre os agregados, dando coesão ao sistema e atuando na distribuição das forças aplicadas. Já os agregados atuam como reforço e correspondem a aproximadamente 60% a 80% do concreto, ajudando a suportar as cargas aplicadas e a diminuição do custo (ANDOLFATO, 2002; BANDEIRA, 2011).

2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland, também denominado de cimento hidráulico é formado pela mistura de silicatos de cálcio triturados (clínquer) e sulfato de cálcio (gesso) que, dependendo da concentração, forma materiais com resistências distintas (ANDOLFATO, 2002; PIMENTA, 2022).

Sendo assim, a *American Society for Testing and Materials* (ASTM C 150) classifica estes cimentos em 5 tipos (Tabela 1) (ANDOLFATO, 2002).

Tabela 1. Classificação dos cimentos Portland de acordo com a resistência a compressão e as principais características.

Tipo'	Característica predominante	Composição (%)				Resistencia à compressão (em relação à resistência do cimento tipo I)			
		1	2	3	4	1 dia	7 dias	28 dias	3 meses
I	Tipo de uso corrente	50	24	11	8	1	1	1	1
II	Moderado calor de hidratação/ Moderada resistência a sulfatos	42	33	5	13	0,75	0,85	0,90	1
III	Elevada resistência inicial	60	13	9	8	1,90	1,20	1,10	1
IV	Baixo calor de hidratação	26	50	5	12	0,55	0,55	0,75	1
V	Elevada resistência a sulfato	40	40	4	9	0,65	0,75	0,85	1

Sendo: 1 – Silicato tricálcio; 2 – Silicato dicálcio; 3 – Aluminato tricálcio; 4 – $(CaO)_4(Al_2O_3)(Fe_2O_3)$

Fonte: (ANDOLFATO, 2002)

2.2.1.2 Cimento Portland Estrutural CP-V RS

Devidos as necessidades crescentes do setor de engenharia civil para construção de edifícios, pontes e outras estruturas que comportem uma carga maior, ou aplicabilidades específicas, inovações tecnológicas foram criadas, como é o caso do cimento CP-V RS ou cimento estrutural resistente a sulfatos (VOTORANTIM, 2023).

O CP-V tem sua produção regulamentada pela norma NBR 16697 (2018) e é um cimento estrutural com alta resistência mecânica, ultrarrápida secagem, que possui resistência química a sulfatos quando exposto a ambientes agressivos, com qualidade e desempenho ao nível industrial, podendo ser aplicado em concretos para uso em lajes, vigas, pilares, viadutos, em esgotos, ambientes marinhos e demais estruturas, com desempenho duas vezes melhor que o do cimento comum, exibindo uma resistência inicial a compressão, com um dia de idade, maior ou igual a 11 MPa (NBR 5737, 1992; VOTORANTIM, 2023).

O CP-V tem em sua composição silicato de cálcio, alumínio, ferro, sulfato de cálcio, *filler* carbonático e pozolana que variam de porcentagem de acordo com o fabricante. Além disso, a quantidade de ar incorporado ao sistema, a resistência, o percentual de retração, a trabalhabilidade e a velocidade de hidratação podem ser afetadas pela finura dos aglomerantes, sendo maior a retração e o surgimento de fissuras, quanto maior a finura. Entretanto, a exsudação, que se caracteriza pelo aparecimento de água na superfície durante o processo de cura, antes da pega, diminui. Em muitos casos, se faz necessário o aumento da quantidade de gesso na mistura para melhorar a trabalhabilidade do sistema (PIMENTA, 2022).

2.2.2 Agregado miúdo

Os agregados têm por função primordial preencher os espaços vazios entre os agregados graúdos, de forma a auxiliar a resistência mecânica do concreto (PIMENTA, 2022).

Originário das rochas sedimentares, comumente encontrado em leitos de rios, esse material pode ser classificado de acordo com sua granulometria, podendo ser

divididos em areias grossa, média, fina e muito fina (Tabela 2) (COSTA, 2016; NBR 7211, 2005).

Tabela 2. Granulometria da areia (mm) referência.

Areia	Mínimo	Máximo
Areia Grossa	3,35	4,05
Areia Média	2,40	3,35
Areia Fina	1,97	2,40
Areia muito fina	<1,97	1,97

Fonte: (Adaptado, ANDOLFATO, 2002)

2.2.3 Agregado graúdo

Os agregados graúdos ou brita são originários da fragmentação de rochas e possuem a função de dar, ao compósito, resistência mecânica, suportando parte da carga aplicada (COSTA, 2016).

Esta resistência, aumenta com o aumento do diâmetro da brita. Sendo assim, eles são classificados segundo o tamanho das partículas componentes (Tabela 3) que vai de 0 a 5 na escala de tamanho, sendo a 1 o menor tamanho e a 5 o maior (ANDOLFATO, 2002; PIMENTA, 2022).

Tabela 3. Granulometria da brita.

Brita	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Brita 0	4,8	9,5
Brita 1	9,5	19
Brita 2	19	25
Brita 3	25	50
Brita 4	50	76
Brita 5	76	100

Fonte: (Adaptado de PIMENTA, 2022)

2.2.4 Água

A água tem por função dar início ao processo de hidratação dos componentes do concreto, de forma a proporcionar a trabalhabilidade e o correto preenchimento dos corpos de prova. Entretanto, essa substância não deve conter resíduos industriais ou substâncias orgânicas visto que a presença de sais minerais e outros materiais podem prejudicar a resistência e durabilidade do concreto (ANDOLFATO, 2002).

2.2.5 Aditivos

Os aditivos são, em sua maioria, produtos acrescentados à mistura de forma a se obter propriedades desejáveis tais como a redução do calor de hidratação, o controle da resistência, o controle do tempo de pega ou o aumento da plasticidade (COSTA, 2016).

2.3. TELA DE FIBRA DE VIDRO

2.3.1 Fibra de vidro

As fibras de vidros são compostas por sílica e outros produtos comuns à fabricação do vidro, além de boratos e outros materiais que conferem características específicas ao produto.

Este material, após misturado e fundido à cerca de 1550 °C, é transferido para fieira que se caracteriza por conter orifícios com diâmetro específico, por onde percola o material de modo a formar os filamentos que são estirados até atingir o diâmetro desejado e posteriormente são resfriados em água ou ar. Este processo ocorre em torno de 1250 °C, visto que nesta temperatura a massa fundida apresenta as melhores condições de viscosidade para o processo (PERUZZI, 2007).

Após esse processo, a fibra de vidro apresenta maior resistência que o vidro comum, uma vez que possuem menor quantidade de defeitos microscópicos (PERUZZI, 2007).

Este material, então, é classificado, de acordo com suas propriedades em: fibras de vidro contínua (formada por milhares de filamentos com diâmetro de, aproximadamente, 15 µm unidos continuamente de forma a dar origem ao *roving* (ou tubete de fio); fibra de vidro picada, e fibras de vidro que sofrem o processo de pultração (onde as fibras ou mantas sofrem um processo de impregnação com resinas poliméricas tais como epóxi e/ou poliéster, de modo a formar perfis de diversos formatos (PERUZZI, 2007).

2.3.2 Telas

As telas ou mantas tem sua fabricação similar à tecelagem de tecidos de algodão, utilizando, no entanto, como fios os *roving* (GIESE, 2019; PERUZZI, 2007).

Após este processo, elas podem ser impregnadas ou tratadas com materiais, especialmente de origem polimérica, de forma a apresentarem características mais interessantes à sua aplicação, uma vez que este material sofre grande influência do meio alcalino do cimento Portland, que causa sua rápida deterioração devido ao rompimento das ligações Si-O-Si (BENTUR; MINDESS, 1990, 2007).

Estas telas têxteis são muito usadas como reforços de estruturas de concreto armado ou para reparo de estruturas danificadas de forma a melhorar a durabilidade do material quando exposto as condições ambientais (GIESE, 2019).

Suas propriedades variam de acordo com o diâmetro do fio usado, a composição do material, o número de fios do urdume e da trama e dos tratamentos recebidos pela tela. Sendo assim, a escolha do material adequado é de suma importância para o processo, a durabilidade e os resultados obtidos (GIESE, 2019).

2.4. RESÍDUOS

Em 2012 foi publicada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que prevê uma gestão ambiental efetiva de forma a reduzir os resíduos sólidos, por meio

de práticas de reutilização, descarte adequado, reciclagem ou por mudanças no processo de fabricação (LAVNITCKI; BAUM; BEEGATO, 2018).

Os resíduos sólidos vêm se tornando um grave problema nas grandes cidades, especialmente por não possuírem destinação correta, causando inúmeras implicações ao meio ambiente com desdobramentos socioeconômicos. Sendo assim, é indispensável o aumento da conscientização ambiental (LAVNITCKI; BAUM; BEEGATO, 2018).

Neste contexto, a PNRS veio dar direção à destinação de restos do processo produtivo que são responsáveis por impactar o meio ambiente. Um outro fator a se considerar neste processo é o aumento do valor agregado dos resíduos tratados, gerando renda para uma fatia mais pobre da população (TAGLIAFERRO; JUNIOR, 2022).

Dentre os setores produtivos, o da construção civil que é regulamentado pela resolução CONAMA nº. 307/02, apresenta um dos maiores índices de geração de resíduos, sendo necessário a implementação de novas medidas de gerenciamento de forma a minimização deste problema (MATOS; ALENCAR, 2019).

Quando se fala em reciclagem no Brasil, outrora, somente os plásticos, o papel e o alumínio, eram considerados. Entretanto, atualmente, outros produtos vêm ganhando espaço neste processo. Contudo, este caminho ainda é longo, passando por uma série de processos de gerenciamento e conscientização dos cidadãos, do poder público e das empresas (LAVNITCKI; BAUM; BEEGATO, 2018).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

3.1.1 Resíduos de tela de fibra de vidro

Os resíduos de tela de fibra de vidro, doados pela empresa i-Tech, foram utilizados na produção dos compósitos. Estes retalhos de material da marca Veerhuis (Figura 1) foram picados em pequenos seguimentos de aproximadamente 3 cm a 5 cm (Figura 2).

Esta tela de amianto resistente à álcalis é recomendada para aplicações em *Steel Frame*, *Wood Frame* (Placa Cimentícia e EIFS - *Exterior Insulation Finish Systems*), acabamento de chapas EPS (Poliestireno Expandido), XPS (poliestireno extrudado) e PU (poliuretano) em sistemas de construção a seco, reforço de argamassa e reforço de reboco (VEERHUIS, 2023).

Figura 1. Tela de fibra de vidro da marca Veerhuis.



Fonte: Autor, 2023

Figura 2. Pequenos pedaços da amostra da tela de fibra de vidro.



Fonte: Autor, 2023

3.1.2 Agregado Graúdo

Foi fixado o uso de agregado graúdo de origem natural, próximo ao da brita 1, ou seja, com dimensões entre a 9,5 mm a 19 mm. Este material foi, gentilmente, cedido pelo UniFOA e é oriundo da região Sul Fluminense, com aspecto homogêneo (Figura 3).

Figura 3. Brita 1 com granulometria entre 9,5 mm a 19 mm.



Fonte: Autor, 2023

3.1.3 Agregado Miúdo

Foi utilizado areia comum como agregado miúdo, oriundo dos rios da região Sul Fluminense cedido pelo UniFOA, com granulométrica <1,97 a 1,97 mm (Figura 4).

Figura 4. Areia utilizada como agregado miúdo.



Fonte: Autor, 2023

3.1.4 Cimento

Utilizou-se, para esse trabalho, o cimento comercial da VOTORANTIM Cimentos denominado de cimento Portland Estrutural Resistente a Sulfatos (CP V - RS) obtidos nas lojas de materiais de construção de Volta Redonda – RJ.

O cimento adquirido, apresenta elevada resistência à compressão (11 MPa) após 24 h de conformação e resistência a sulfatos, sendo, portanto, excelente para uso em condições agressivas, tais como ambientes marinhos ou esgoto. Além disso, sua pega é bastante rápida, o que diminui o tempo de trabalhabilidade (VOTORANTIM, 2023).

3.2. MÉTODOS

3.2.1 Análise Térmica Simultânea (STA)

Utilizou-se um equipamento da marca PerkinElmer, modelo 6000 para avaliar termicamente a tela de fibra de vidro utilizada na composição do material desenvolvido.

A amostra de aproximadamente 10 mg foi aquecida da temperatura ambiente (25 °C) até 900 °C, usando-se uma taxa de 10 °C.min⁻¹, sob atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo gasoso de 20 ml.min⁻¹. O recipiente da amostra foi de alumina e o software usado para análise foi o Pyris v12.1.

3.2.2 Espectrometria de Absorção na Região do Infravermelho (FT-IR)

Visando caracterizar o revestimento das fibras de vidro utilizadas na trama da tela, foram realizados ensaios em duas técnicas diferentes de FT-IR.

A análise de espectrofotometria na região do Infravermelho com Transformada de Fourier se baseia na absorção de luz, de um determinado espectro, por um átomo ou um conjunto de átomos de uma estrutura molecular, permitindo a caracterização de grupos funcionais ou da substância (BANDEIRA, 2015; COSTA, 2018).

Os ensaios foram feitos no Laboratório de Instrumentação da Divisão de Química (AQI/IAE) em um espectrofotômetro FT-IR modelo Spectrum One da PerkinElmer.

A primeira técnica utilizada foi a *Universal Attenuated Total Reflectance* ou UATR com célula de seleneto de zinco, na região média do infravermelho (4.000 a 550 cm^{-1}), com ganho de 1, resolução de 4 cm^{-1} e 20 varreduras com velocidade de 0,2 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ e torque de 80 N.

A segunda técnica foi a de filme fino após pirólise, onde o resíduo da degradado do material teste é depositado, na forma de um filme fino sobre uma célula de KBr (faixa 4.000 a 400 cm^{-1}). O ensaio foi realizado com ganho de 1, resolução de 4 cm^{-1} e 20 varreduras com velocidade de 0,2 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

3.2.3 Granulometria dos Agregados

A análise granulométrica, baseado na NBR 7212 (2012), é um método físico utilizado para determinar o tamanho dos grãos dos agregados graúdo e miúdo, após secagem, por 24 horas, em estufa Odontobrás modelo 1.5, à 105 °C.

Após frio, os agregados foram pesados e despejados em peneiras de malhas (mm) que atendessem as especificações do material e o fundo e agitados em um agitador de peneiras da marca SOLOTEST, frequência de 15 Hz por 10 minutos.

A massa retida em cada peneira, foi então, pesada para avaliação.

3.2.4 Microscopia óptica

Com o objetivo de se avaliar as partículas do granulado miúdo, foi realizada análise por microscopia óptica, disponível no laboratório de metalografia do UniFOA.

Para essa análise foram utilizados dois diferentes microscópios. O primeiro, de luz transmitida, foi da marca Time IN, modelo TIM-2005 com oculares WF10X (18 MM) e lente PL10 com razão de espectro de 0,25. O segundo, foi um microscópio óptico de reflexão da marca OPTON, com lentes PL10 com razão de espectro de 0,25 e PL20 com razão de espectro de 0,40.

As imagens com 100x do primeiro microscópio foram adquiridas diretamente em uma câmera digital Zeiss AxioCam Icc3 e as imagens do segundo microscópio foram adquiridas com 100x de aumento pelo software ScopePhoto Vision x86, 3.1.615 com o objetivo avaliar a microestrutura das amostras.

3.2.5 Produção do concreto

A escolha das proporções foi baseada em dados da literatura para o Cimento Portland. Sendo assim, o traço foi definido em: 1: 2: 2: 0,60 (Cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água) respectivamente (Tabela 4) (COSTA, 2016; PIMENTA, 2022).

Tabela 4. Quantidade de materiais para traço 1: 2: 2: 0,60 em kg.

Materiais	Cimento	Areia	Brita 1	Água
Quantidade (Kg)	39,43	78,86	78,86	23,66

Fonte: Autor, 2023

Não foram utilizados, para esses corpos de prova, nenhum aditivo, visando avaliar apenas a influência da adição do resíduo de tela ao concreto, evitando assim resultados tendenciosos devido a presença de outras variáveis.

Os corpos de prova sem acréscimo da tela foram chamados de referência, e os com adição da tela, de acrescido (AC) (Tabela 5).

A escolha da quantidade de material acrescido foi empírica, tendo em vista que acima da quantidade de 3% esse material tendia a precipitar e perder sua função de coesão.

Tabela 5. Dosagem utilizada na pesquisa.

Substituição do agregado graúdo $kg. m^{-3}$					
Traço	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água	Tela Resíduo
Ref.	39,43	78,86	78,86	23,66	0
AC	38,25	76,50	76,50	22,95	6,62

Fonte: Autor, 2023

3.2.6 Corpos de prova para ensaios de compressão

Todas as dosagens, para se obter os corpos de prova, foram realizadas usando-se as proporções, em massa, da tabela 5 e misturados em uma Betoneira Menegotti à 30 rpm no laboratório do UniFOA.

Os cinco moldes utilizados para cada idade, foram preparados usando-se uma fina camada de óleo mineral na face interna e preenchidos com o concreto adensado com uma haste de adensamento cilíndrica, de aço. Para o adensamento do concreto, foram efetuados, ao total 24 golpes manuais, sendo 12 golpes em 2 camadas de acordo com a NBR 5738 (2016). Os moldes usados apresentavam diâmetro de 10 cm x 20 cm de altura.

Os corpos que estavam armazenados à temperatura de 25 °C, foram desmoldados após 24 horas e posteriormente imersos em uma solução saturada de hidróxido de cálcio, em câmara úmida, com temperatura 25 °C. Os corpos de prova permaneceram neste ambiente, até serem ensaiados com idade de 7, 14, 21 e 28 dias (Figura 5).

Figura 5. Corpos de prova para ensaios de resistência à compressão.



Fonte: Autor, 2023

3.2.7 Expansibilidade de *Le Chatelier*

Este ensaio visa determinar a expansibilidade da pasta e é baseada na norma NBR 11582 (2016). Para tanto, utiliza-se uma agulha de *Le Chatelier* (Figura 6), juntamente com paquímetro de precisão.

Utilizando-se a pasta padrão, o molde foi preenchido e posto em ambiente controlado, à 25 °C, por 24 h. Após esse período, os corpos de prova foram imersos em solução aquosa, em câmara úmida à 25 °C.

Decorridos 6 dias, as amostras foram retiradas e avaliadas com o uso de paquímetro de precisão.

Figura 6. Agulha de *Le Chatelier*.



Fonte: PIMENTA, 2022

3.2.8 Tempo de início e fim de pega

Utilizando-se um aparelho de Vicat, pode-se observar o início e final de pega do cimento, ou seja, o processo de endurecimento a partir do qual, a trabalhabilidade se torna difícil de acordo com a norma NBR NM 65.

Em um aparelho de Vicat foram medidas, à cada 10 min, a resistência do material para penetração da agulha, no corpo de prova, preenchido com a pasta, a uma temperatura controlada de 25 °C (Figura 7).

Figura 7. Aparelho de Vicat.



Fonte: PIMENTA, 2022

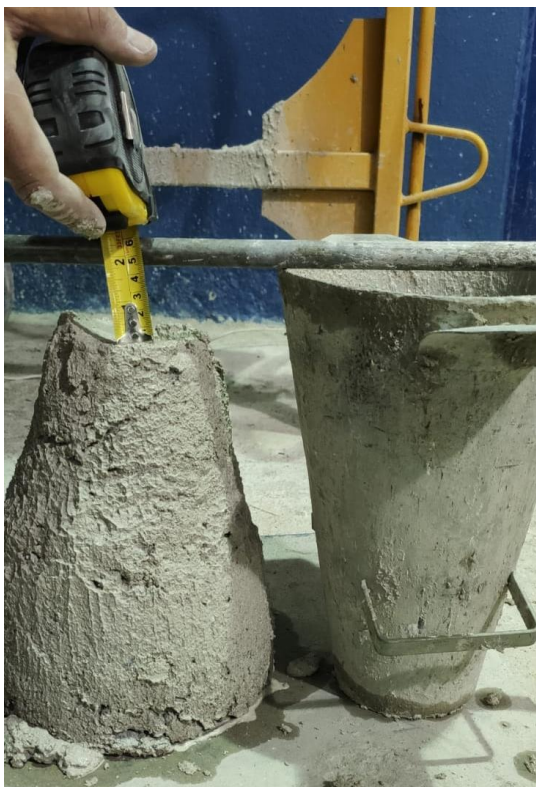
3.2.9 Ensaio de abatimento

O ensaio de abatimento ou *Slump test*, é baseado na norma NBR NM 67 (1998), tem por finalidade definir a consistência do concreto, quando o mesmo está no estado fresco, através da medida de seu assentamento.

Este ensaio foi feito em um molde de tronco cônico com 20 mm de diâmetro inferior da base, 100 mm de diâmetro superior da base e altura de 300 mm que é colocado sob uma placa metálica plana de aço (Figura 8) e preenchido e adensamento com haste metálica.

Após, este processo, retira-se o molde que é colocado ao lado do corpo de prova sobre a placa metálica para se verificar, com o uso de uma trena, a taxa de abatimento do concreto.

Figura 8. Ensaio de Abatimento.



Fonte: PIMENTA, 2022

3.2.10 Microscopia de varredura eletrônica (MEV)

O microscópio de varredura eletrônica opera a 5 kV, no vácuo, com detector de elétrons visando observar a microestrutura de materiais sólidos. O equipamento utilizado foi o microscópio de varredura eletrônica da marca HITACHI, modelo TM 3000 operado pelo software Tapletop Microscope, localizado no laboratório UniFOA com ampliação de 25x e 200x.

3.2.11 Compressão Uniaxial

Este ensaio foi baseado na NBR 5739 (2018), cujos corpos de prova apresentam dimensões cilíndricas de 10 cm x 20 cm.

Foram feitos 5 corpos para as idades de 7, 14, 21 e 28 dias o material de referência e o acrescido, em uma Máquina Universal de ensaios EMIC, modelo 100 kN da linha DL EMIC localizado no laboratório UniFOA (Figura 9).

Figura 9. Prensa EMIC para ensaio de compressão Uniaxial.



Fonte: PIMENTA, 2022

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS MATÉRIAS PRIMAS

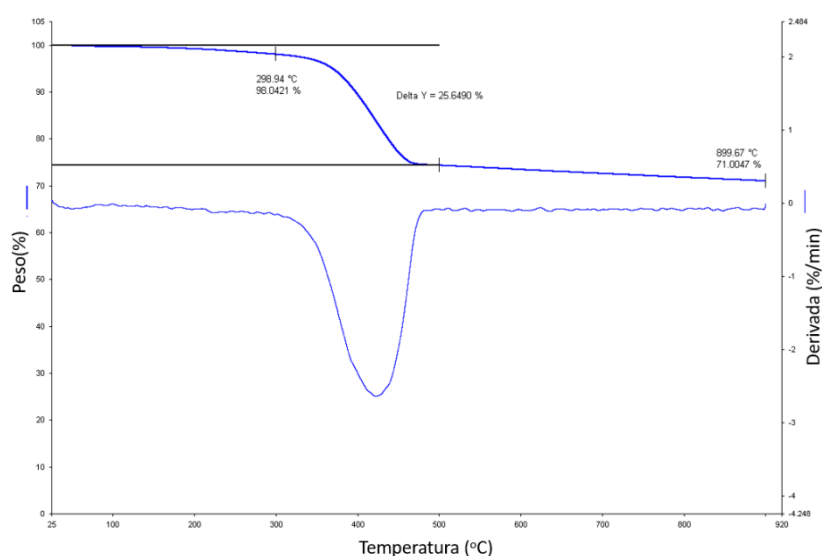
4.1.1 Aspecto visual

A tela de fibra de vidro apresenta uma coloração branca leitosa, bastante diferente dos filamentos deste material usualmente encontrados no mercado, sugerindo um tratamento superficial da mesma (Figuras 1 e 2).

4.1.2 STA

Foi avaliada a degradação do material em função do aumento da temperatura (Figura 10), ou seja, foi realizada uma análise termogravimétrica (TGA) que mostrou um decaimento que se iniciou à temperatura de 298,9 °C, com perda aproximadamente 26%, confirmando a análise visual anterior de que o material apresenta um tratamento superficial que pode prejudicar o processo de ancoragem do cimento.¹

Figura 10. Ensaio de TGA da tela de fibra de vidro realizado em um STA da PerkinElmer



Fonte: Autor, 2023

¹ PALMEIRA, A. A. – Eng. Mecânica. UniFOA, Volta Redonda, 2023 apud.

Outro ponto a ser considerado é que a derivada desta curva apresenta apenas um pico, indicando que o material utilizado para tratar a fibra é puro, sendo, provavelmente, um material de origem polimérica.

O resíduo à 900 °C foi de 71,0% e corresponde a fibra de vidro conforme pode ser observado na figura 11.

Figura 11. Resíduo de fibra de vidro após a análise de TGA.



Fonte: Autor, 2023

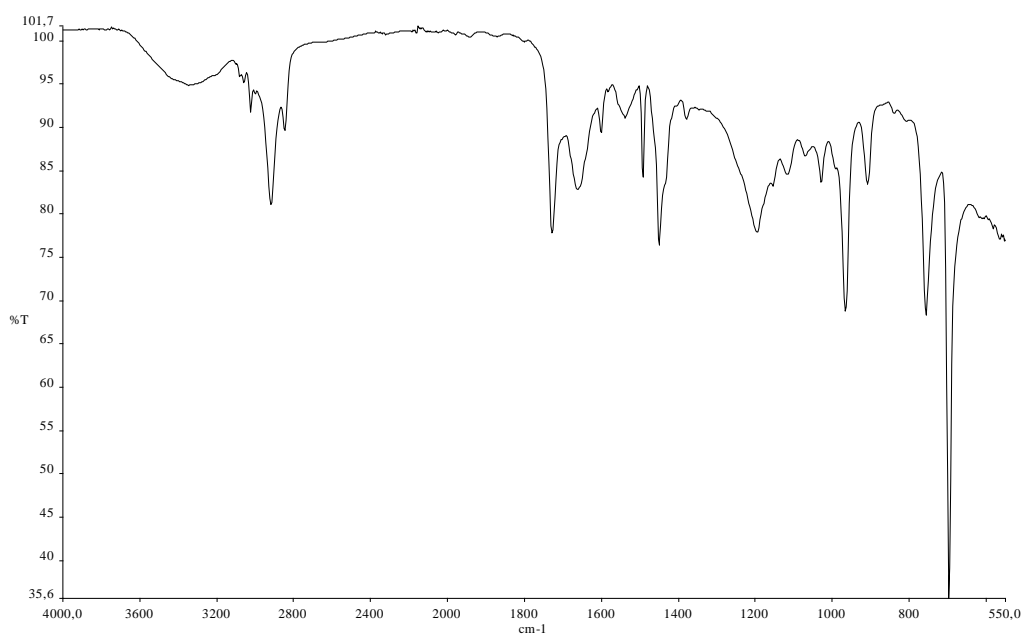
4.1.3 FT-IR

As bandas obtidas pelo UATR na tela sem tratamento (Tabela 6) indicam que o material é uma resina aromática, podendo ser estirênica ou epoxídica devido a presença da banda em aproximadamente 910 cm^{-1} característica do anel oxirano ou epoxídico ou da vibração $\text{CH}=\text{C}-\text{H}$ fora do plano de curvatura do estireno (Figura 12) (AGUIAR, 2020; BARRA; CARNEIRO; ORÉFICE, 2003; BECKER, 2011; MAIA, 2019; SANTIN, 2008).

Tabela 6. Bandas da tela de fibra de vidro *in natura* por UATR.

Nº de ondas da literatura (cm ⁻¹)	Atribuição	Nº de ondas (cm ⁻¹)
3000 - 3100	Deformação axial do C-H aromático	3060,73
3000 - 3100	Deformação axial do C-H aromático	3025,75
1493 e 1450	Deformação axial do C-H aromático	1493,45
910	CH=C-H fora do plano	909,23
710 - 690	Deformação angular do grupo C-H monossustituído aromático	697,81

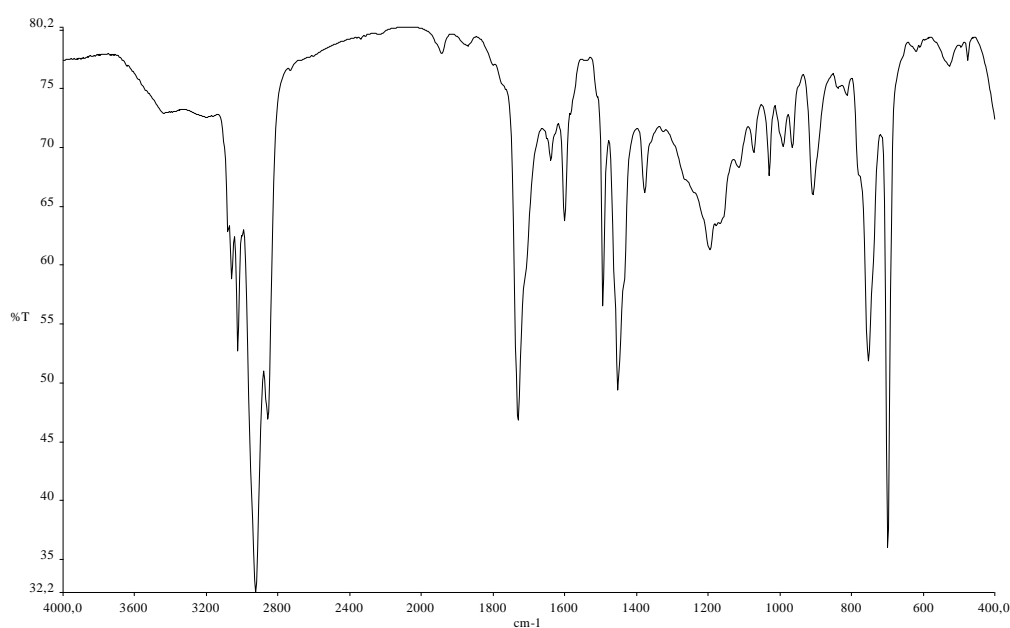
Fonte: Autor, 2023

Figura 12. Espectro de FT-IR da tela *in natura* obtido pela técnica de UATR com torque de 80 N.

Fonte: Autor, 2023

Decorrente da dúvida existente, foi realizado as análises usando pirólise para melhor visualização do polímero que apresentou, entretanto, uma banda, em 1200 cm^{-1} , que pode ser característica de resinas poliéster ou poliéter decorrentes do estiramento, no plano, do C-H presente nos anéis aromáticos, eliminando com isso a presença de epóxi no meio (Figura 13) (AGUIAR, 2020; BARRA; CARNEIRO; ORÉFICE, 2003; BECKER, 2011; MAIA, 2019; SANTIN, 2008).

Figura 13. Espectro de FT-IR, por pirólise, sob célula de KBr, do resíduo da tela.



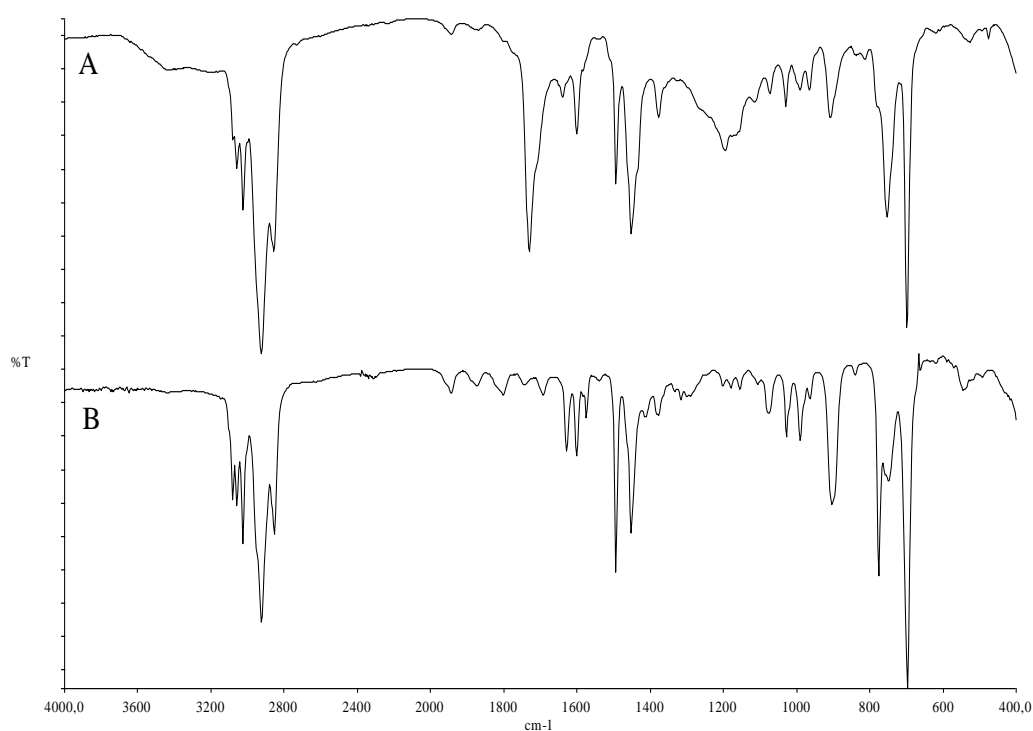
Fonte: Autor, 2023

Para determinar com certeza a resina utilizada, foi feito um comparativo, usando a técnica de filme fino após pirólise, do líquido resultante da degradação do polímero da tela de fibra de vidro com estireno em pellet (Figuras 14), obtendo-se as bandas típicas deste material em: 3082 cm^{-1} , 3060 cm^{-1} e 3026 cm^{-1} resultantes da deformação axial (ν) do grupo C-H aromático, 2923 resultante da deformação axial assimétrica (ν_{as}) do grupo CH_2 , 1601 e 1493 decorrentes da deformação axial (ν) do grupo C-H aromático, 1452 que ocorre devido ao estiramento axial (ν) do grupo C-C aromático, 757 e 699 decorrente da deformação angular (δ) do grupo C-H monossustituído aromático. Sendo o mais importante a banda em 1601 cm^{-1} que é característica deste material, confirmando, assim, que a resina aplicada foi uma resina

poliestirênica (Figura 14) (AGUIAR, 2020; BARRA; CARNEIRO; ORÉFICE, 2003; BECKER, 2011; MAIA, 2019; SANTIN, 2008).

Algumas diferenças ainda são notáveis, mas elas são decorrentes da procedência dos materiais, sendo, portanto, normal.

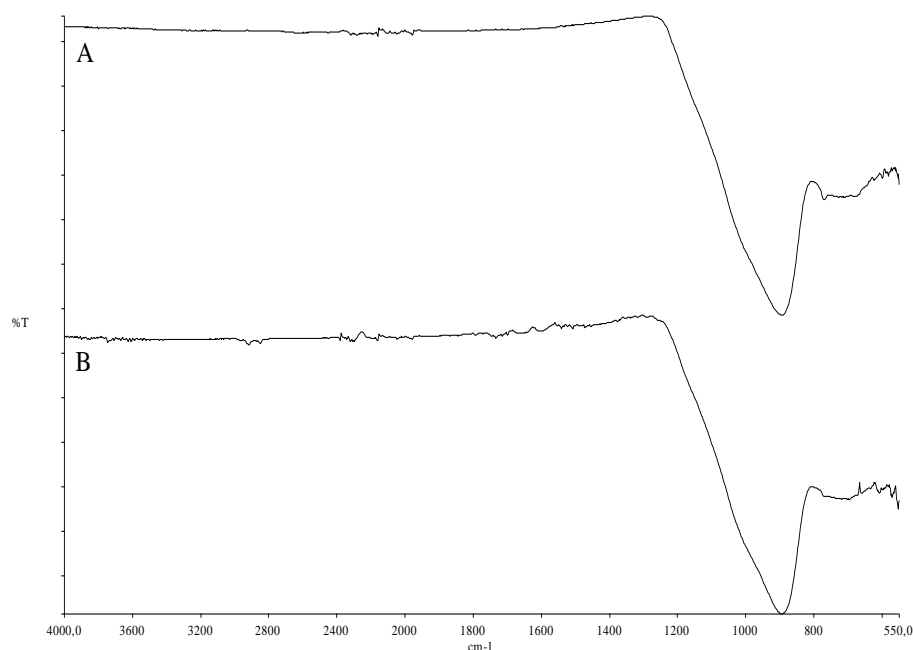
Figura 14. Espectro de FT-IR após pirólise pela técnica de filme fino sob célula de KBr onde A) representa o resíduo líquido da tela pirolisada e B) os Pellets de Poliestireno após pirolisados.



Fonte: Autor, 2023

Para comprovação do resíduo obtido após análise de STA, foi realizada análise de FT-IR pela técnica de UATR, que demonstrou a presença de uma banda em 895.22 cm⁻¹ (915 – 540 cm⁻¹) característica do estiramento Si-O que comprova a presença de materiais argilosos com base de sílica (PADILHA, et al., 2017, COSTA, 2018) e um ensaio comparativo com uma fibra de vidro padrão existente nos laboratórios do CTA que apresentam bandas idênticas (Figura 15).

Figura 15. Espectro de FT-IR obtido pela técnica de UATR onde A) representa obtido após ensaio e STA B) fibra de vidro.



Fonte: Autor, 2023

4.1.4 Granulometria

Visando conhecer a distribuição granulométrica dos agregados, foi realizado o ensaio granulométrico da brita que mostrou que o material se apresenta distribuído homogeneamente, com 95,6% dentro da faixa esperada de tamanho (9,5 mm a 19 mm), favorecendo a resistência do material (Tabela 7) (COSTA, 2016).

O mesmo procedimento foi realizado na areia (agregado miúdo), observando-se que de forma similar, o material se apresenta dentro da granulometria padrão para areia muito fina (<1,97 mm a 1,97 mm) com baixo módulo de finura em comparação aos utilizados em Campos (2009) e Vieira (2017), mas de acordo com o utilizado por Pimenta (2022), indicando que pode ocorrer um preenchimento melhor dos vazios que são formados pelos agregados grãos (Tabela 8). Entretanto, este material, pode se apresentar com partículas muito redondas, ou seja, sem pontos de ancoragem significativos que acaba por diminuir a resistência do concreto. Neste caso, sua aplicação seria mais adequada para uso em emboço ou aplicações não estruturais.²

² PALMEIRA, A. A. – Eng. Mecânica. UniFOA, Volta Redonda, 2023 apud.

Tabela 7. Granulometria do agregado graúdo.

Malha (mm)	Material Retido (g)	% Retido (%)
25,40	0	0
19,05	102	10,20
12,70	681	68,10
9,52	173	17,30
6,35	30	3,00
4,76	8	0,80
Fundo	6	0,60

Fonte: Autor, 2023

Tabela 8. Granulometria do agregado miúdo.

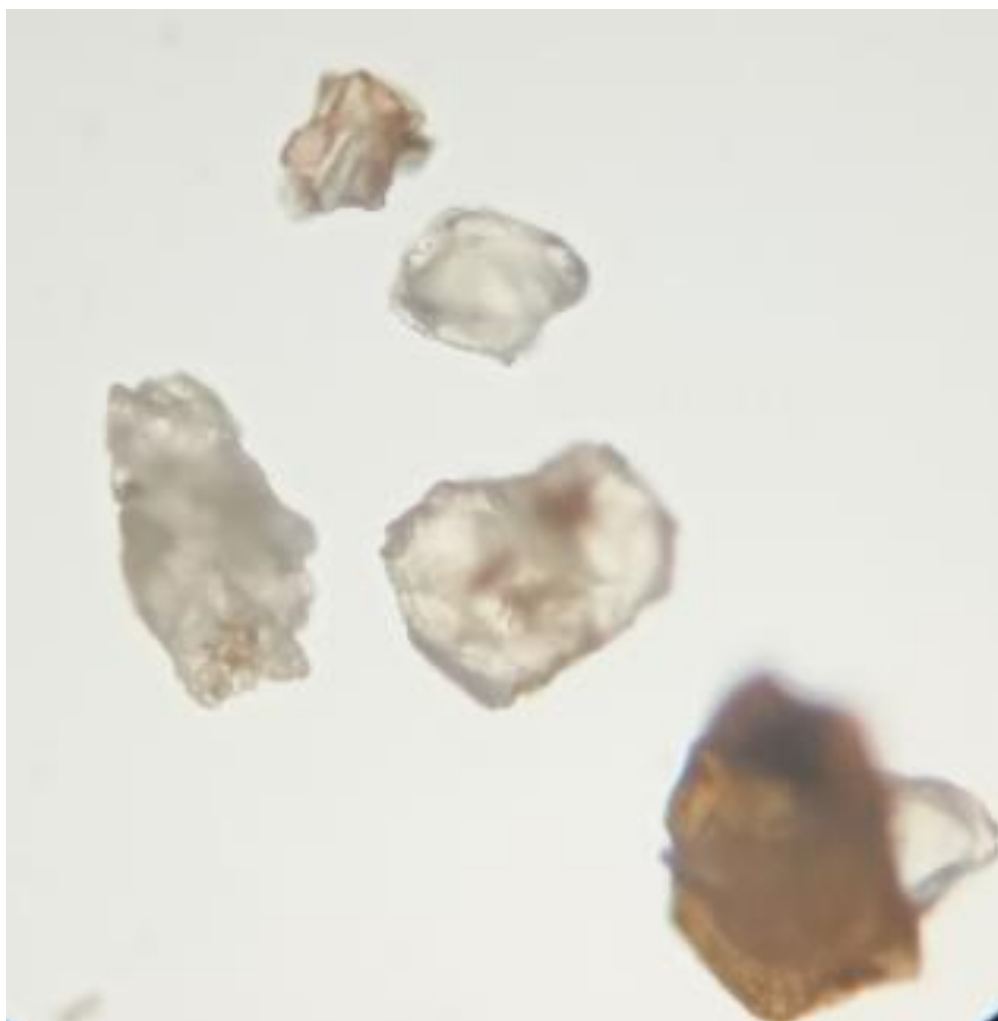
Malha (mm)	Retida (g)	% Retido (%)
2,400	11,58	1,65
1,200	59,5	8,50
0,600	215,0	30,72
0,300	290,8	41,54
0,150	114	16,29
Fundo	9,12	1,30

Fonte: Autor, 2023

4.1.5 Microscopia Óptica

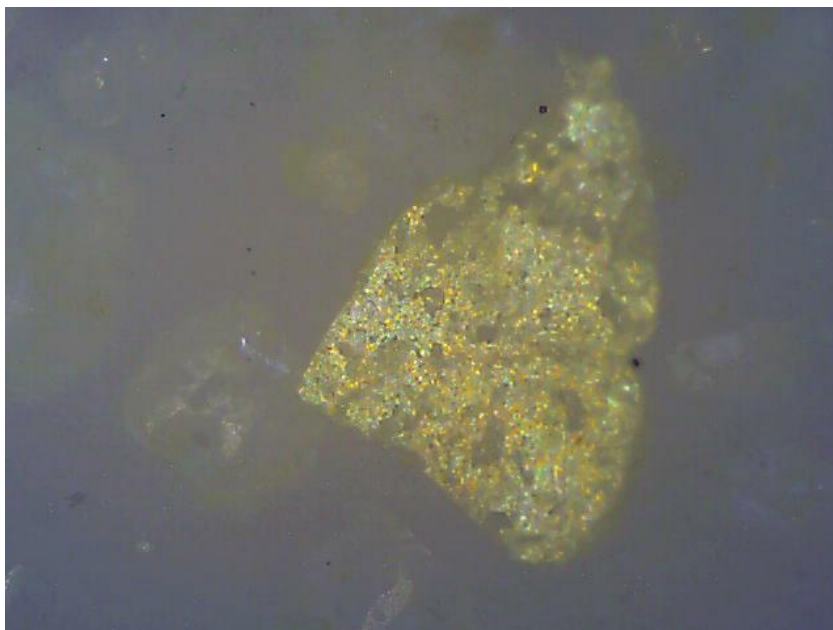
A areia analisada com 100x de aumento (Figura 16), apresentou partículas arredondadas com pouca base para ancoragem. O mesmo se observa nas amostras analisadas no microscópio OPTON com 100x de aumento (Figura 17), o que pode acarretar uma baixa resistência à compressão do concreto.

Figura 16. Areia analisada em microscópio Time IN com aumento de 100x.



Fonte: Autor, 2023

Figura 17. Areia analisada em microscópio OPTON com aumento de 100x.



Fonte: Autor, 2023

4.1.6 Expansibilidade de *Le Chatelier*

Baseado na NBR 11582 (2016), foi realizado o ensaio de *Le Chatelier* apenas na cura a frio com leitura após 7 dias. Com isso observou-se que o cimento CP – VRS apresenta uma taxa de expansibilidade elevada (10,1 mm) acima do valor máximo de 5,0 mm descrito pela NBR 16697 (2018), podendo acarretar problemas de trincas durante sua secagem (BRASIL, 2019).

4.1.7 Início e Fim de Pega

De acordo com a norma NBR NM 65 (2003) e os resultados encontrados na literatura o ensaio de pega, que foi realizado na pasta com composição 1:0,60 (cimento, água), utilizando um aparelho de Vicat à temperatura de, aproximadamente, 25 °C mostrou que o tempo de pega inicial (1 h e 10 min) está de acordo com o especificado, ou seja, ≥ 1 h e o tempo final (6 h) cuja especificação é menor que 10h também está (CIMENTO.ORG, 2023).

4.1.8 Ensaio de Abatimento

O método utilizado se baseou na NBR NM 67 (1998), sendo aplicado em concretos que possuam agregado graúdo com até 35,7 mm de dimensão. Foi realizado o ensaio em uma forma de tronco cônico, preenchimento com o material que após desenformado teve sua variação de altura avaliada (Tabela 9).

Tabela 9. Ensaio de abatimento no concreto.

	Material	
	Referência	Acrescido
Valores(mm)	70	60

Fonte: Autor, 2023

O concreto com e sem adição de tela de fibra de vidro apresentou uma taxa de abatimento na faixa dos materiais utilizados para pavimentos e elementos de fundação de acordo com a norma NBR 8953 de 2015, indicando uma taxa máxima de abatimento de 23% para o concreto referência e 20% para o concreto acrescido, apontando uma fluidez do concreto com tela de fibra de vidro. Esta taxa de abatimento, pode ser devido relação água/cimento baixa e a não utilização de aditivos (CAMPOS, 2009; PIMENTA, 2022).

4.1.9 Ensaio de Compressão Uniaxial

Baseando-se na norma NBR 5739 (2018), foram realizados os ensaios de compressão uniaxial que utilizou 5 corpos de prova para cada idade ensaiada de 7, 14, 21 e 28 dias de cura em câmara com solução saturada de hidróxido de cálcio à temperatura controlada de, aproximadamente, 25°C.

Para os concretos denominados de referência (Tabela 10) e o acrescido (Tabela 11), observou-se um crescimento contínuo médio da resistência, com o aumento das idades de cura, de aproximadamente 26%, 6% e 1% com as idades de

7, 14, 21 e 28 dias. Notando-se, claramente uma tendência a estabilização já na idade de 21 dias.

No geral, os valores individuais tenderam a média, o que indica um coeficiente de variação baixo (< 6%). No entanto, houve uma diminuição dos valores de resistência do material acrescido quando comparado aos de referência. Isto ocorreu, provavelmente devido a baixa ancoragem do concreto nos resíduos de tela acrescidos à mistura, causando fratura nestes pontos. Entretanto, os valores da média e da mediana apresentam-se próximos entre si, indicando equilíbrio entre as amostras.

Tabela 10. Resultados ensaio compressão concreto referência.

Dias de Cura	Resultados (MPa)	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
7	20,79	19,97	20,16	1,01	1,00	5,02
	19,40					
	18,75					
	19,54					
	20,79					
14	25,18	25,22	25,18	0,98	0,99	3,92
	25,00					
	26,52					
	23,80					
	25,60					
21	24,27	26,68	27,00	2,38	1,54	5,79
	27,02					
	26,55					
	28,55					
	27,00					
28	25,90	26,81	26,99	0,58	0,76	2,84
	27,00					
	26,31					
	26,99					
	27,89					

Fonte: Autor, 2023

Tabela 11. Resultados ensaio compressão concreto acrescido.

Dias de Cura	Resultados (MPa)	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
7	18,82	18,61	18,52	0,37	0,60	3,26
	18,29					
	18,52					
	17,91					
	19,52					
14	23,82	23,56	23,66	0,18	0,43	1,83
	22,90					
	24,02					
	23,42					
	23,66					
21	24,89	25,33	25,52	0,21	0,47	1,84
	25,67					
	25,52					
	24,78					
	25,80					
28	25,17	25,73	25,33	0,96	0,98a	3,81
	24,66					
	26,44					
	27,04					
	25,33					

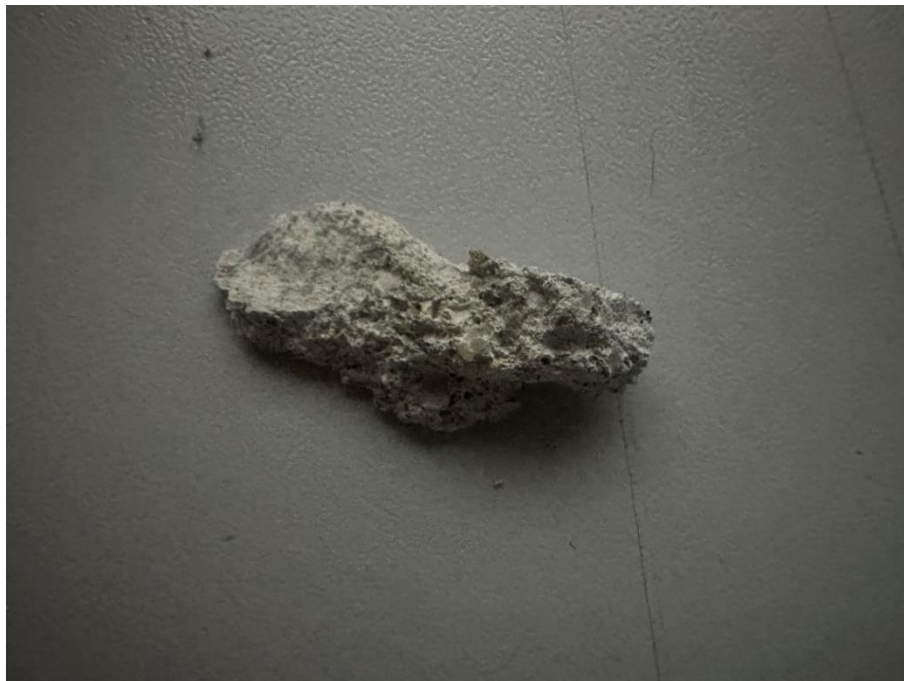
Fonte: Autor, 2023

4.1.10 Microscopia de varredura eletrônica (MEV)

Foram observados, na região do rompimento dos corpos de prova de resistência à compressão, que com a ampliação de 25x e 200x uma boa resolução (Figura 18).

Figura 18. MEV do corpo de prova de referência com ampliação de a) 0x, b) 25x e c) 200x.

a)



b)

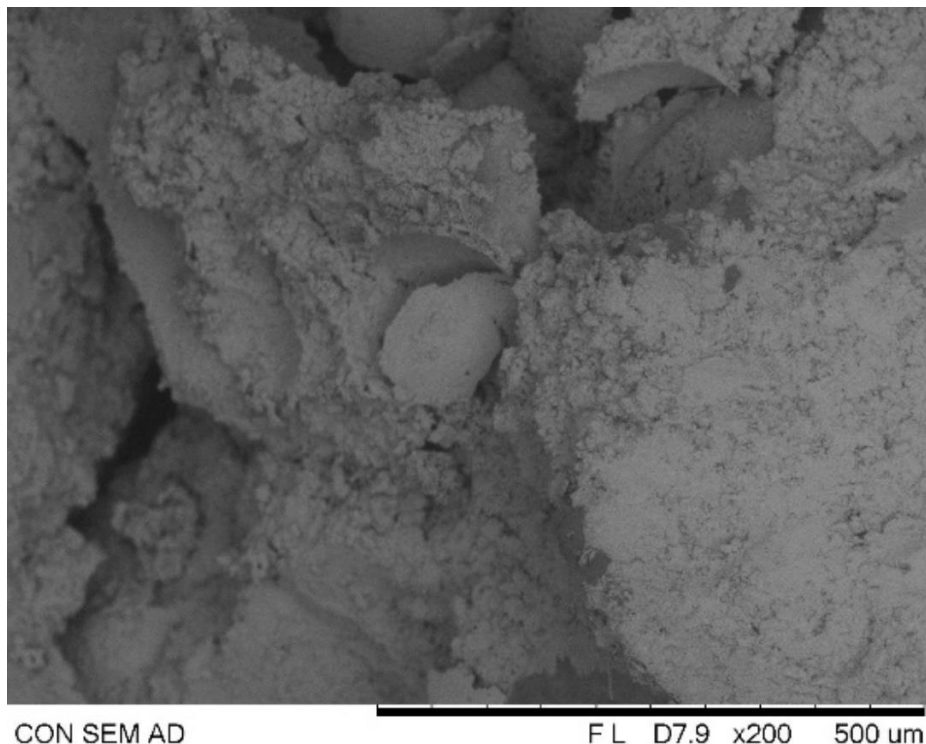


CON SEM AD

F L D6.8 x25 4 mm

Figura 18. MEV do corpo de prova de referência com ampliação de a) 0x, b) 25x e c) 200x.

c)



Fonte: Autor, 2023

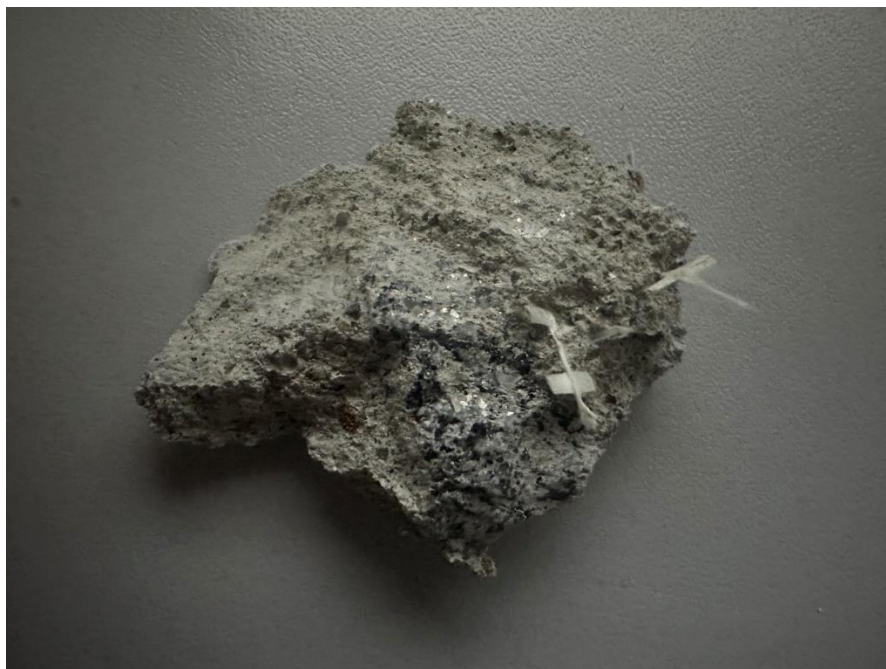
A brita se apresenta envolta pela argamassa com relevos aleatórios, demonstrando, sobre ampliação, uma porosidade significativa, o que é interessante para adesão e penetração do concreto.

Além disso, é possível notar que há uma homogeneidade do sistema, que uma argamassa endurecida e porosa com as ampliações de 200x (PIMENTA, 2022).

No material com acréscimo de tela de fibra de vidro, entretanto, se observa (Figura 19) que a ruptura do sistema se deu, em parte, na região com a presença de tela que se apresenta sem argamassa aderida ou que mostra perda de sua cobertura, indicando que o tratamento prévio da fibra de vidro acarretou menor ancoragem no sistema concreto / fibra, fazendo com que houvesse uma diminuição de até 7,31% de resistência por idade solicitada quando comparado ao concreto referência.

Figura 19. MEV do corpo de prova de referência com ampliação de a) 0x, b) 25x e c) 200x.

a)

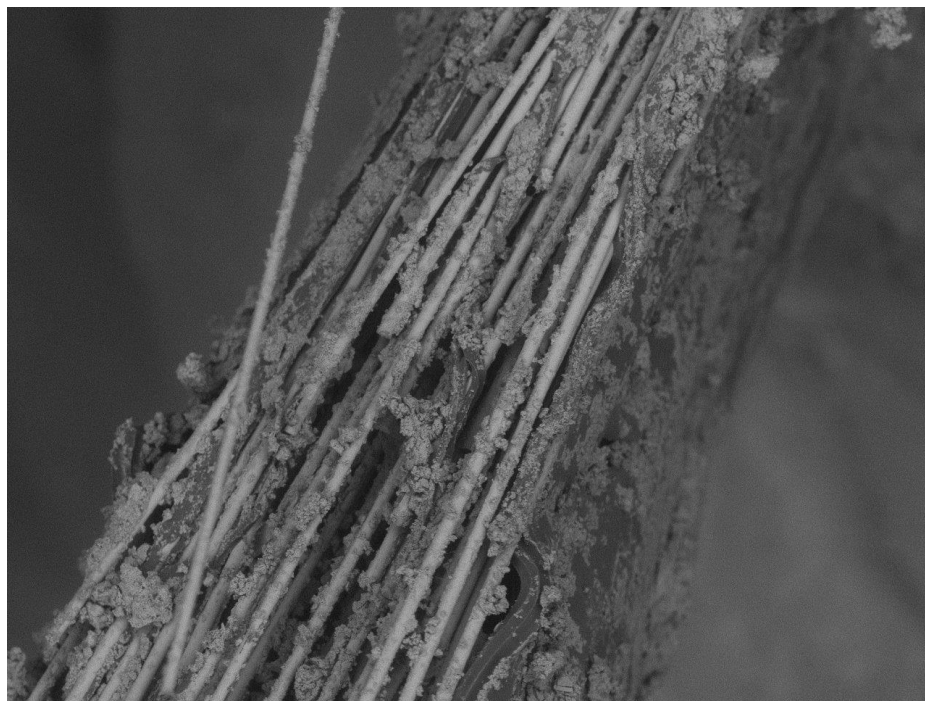


b)



Figura 19. MEV do corpo de prova de referência com ampliação de a) 0x, b) 25x e c) 200x.

c)



CONCR ADIC

F L D5.4 x200 500 um

5. CONCLUSÕES

Conforme o objetivo da pesquisa, foi feito o acréscimo dos resíduos de tela de fibra de vidro no concreto na proporção de 3% e observados as características físico-químicas deste material acrescidos que foi comparado com o material de referência que apresentou resultados, em geral satisfatória se levado em conta a linearidade dos dados.

Para o resíduo de tela de vidro acrescido, observa-se que o tratamento realizado, pelo fabricante, na fibra, com resina à base de estireno, diminuiu a porosidade do sistema e, conseqüentemente, a ancoragem fazendo com que a resistência a compressão diminuísse em até 7,31% em relação ao concreto puro.

Quanto aos valores de resistência a compressão houve um aumento contínuo em ambos os casos estudados com tendência a estabilização com a idade de 21 dias.

Os valores de resistência a compressão se apresentaram com média de 25,32 MPa para o 28º dia de cura, o que caracteriza o mesmo, para aplicações não estruturais tais como bloco, pisos, etc.

6. TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se, para trabalhos futuros:

- Repetição do ensaio após retirada, por calcinação, do revestimento polimérico da tela;
- Ensaiar o sistema com proporções diferentes para certificar o processo de sedimentação do resíduo de tela durante a cura;
- Fazer um novo concreto com inserções de tamanhos menores para verificação da variação da resistência à compressão;
- Fazer ensaios de porosidade para avaliação da influência na resistência do sistema;
- Usar outros tipos de cimento para verificar a influência na resistência.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. F. **Desenvolvimento de membranas recobertas com polímeros condutores: avaliação no sensoriamento de umidade e voláteis**. 2020. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**, 2002- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”, Ilha Solteira, 2002. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/controle-tecnologico-basico-do-concreto.pdf> Acessado em 19 dez. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5737**: Cimentos Portland resistentes a sulfatos. BRA., 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. BRA., 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. BRA., 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. BRA., 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. BRA., 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central - Procedimento. BRA., 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. BRA., 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11582**: Cimento Portland – Determinação de expansibilidade de Le Chatelier. BRA., 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. BRA., 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação de tempo de pega. BRA., 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. BRA., 1998.

BANDEIRA, C. F. **Aplicação de frequências não convencionais na obtenção de curvas de DMA de compósitos poliméricos**. 2011. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

BANDEIRA, C. F. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina/fibra de carbono**. 2015. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BARRA, G.; CARNEIRO, J. R. G.; ORÉFICE, R. L. Blendas condutoras de eletricidade de copolímero de estireno-etileno-butadieno-estireno sulfonado (SSEBS) obtidas por Casting. In: **7º Congresso Brasileiro de Polímeros**, 2003, Belo Horizonte. Anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2003. v. 1. p. 299-300. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2003/Document/352.pdf> Acessado em: 19/12/2023.

BECKER, C. M. **Estudo das propriedades mecânicas e antichamas de nanocompósitos HDL/ Epóxi e compósitos HDL/Epóxi/Fibra de vidro**. 2011. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Nota de aula da disciplina Estruturas de concreto I – Concreto armado. Universidade Estadual Paulista. Abril, 2019.

BENTUR, A. MINDESS, S. Fibre reinforced cementitious composites. New York: **Elsevier Science Publishers**, 1990.

BENTUR, A. MINDESS, S. Fibre reinforced cementitious composites. 2nd. Edition, **Modern Concrete Technology Series**, Taylor&Francis, 2007.

BRASIL, M. D. **Estudo do comportamento do cimento Portland com a incorporação de resíduo do beneficiamento de argilas bentonitas**. Trabalho de Graduação. Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. Fevereiro de 2019

BONIFÁCIO, I. L.; BARBOSA, C. B.; BARBOSA, F. S.; FARAGE, M. C. R. Three dimensional numerical simulation of lightweight aggregate compressive strength using many task computing. **Revista Solebras** - ISSN 1809-3957 – n° 135 v. 12, p.125-129. Anais do XXXVI International Sodebras Congress. 08 à 10 de Dez. de 2016. Belo Horizonte – MG. Março de 2017.

CAMPOS, M. A. **Estudo do reaproveitamento de isoladores elétricos de porcelana como agregados em argamassas e concretos**, 2009. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

CATEB, L. C. **Concreto com armadura de fibra de vidro**. 2011. 31 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CIMENTO.ORG. O Mundo do Cimento - CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial. Disponível em: <https://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/> Acessado em: 17/12/2023.

COSTA, A. R. B. **Desenvolvimento e caracterização de compósito de concreto com adição de reciclado cerâmico de obras**. 2016. 146 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2016.

COSTA, A.C.A. Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina reforçados com fibra da casca de noz-macadâmia. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado profissional em materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2018.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES R. R. A.; MOURA, R. C. A. **O Concreto com material de construção**, 2013 - Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, Sergipe, v. 1, n.17, p. 49-58, out. 2013.

DE ALMEIDA, L.C. **CONCRETO**, 2002. **NOTA DE AULA DA DISCIPLINA ESTRUTURAS IV- CONCRETO ARMADO. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS** – Departamento de estruturas, agosto 2002

DE ARAÚJO, J. M. **O MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL DO CONCRETO**, 2000 - Teoria e Prática na Engenharia Civil, No.1, p.9-16, nov., 2000.

GAMBALE, P.; POSSAN, E.; HASPARYK, N. A importância do controle da temperatura do concreto na prevenção de fissuras e da DEF, para a garantia do desempenho das estruturas. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR** - ISSN 2358-5420 - 32ª edição. p. 1-15. Abril de 2023.

GIESE, A. C. H. **Utilização de argamassa reforçada com têxtil de fibra de vidro álcali resistente para reforço à flexão de vigas de concreto armado**. 2015. 188 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

KAEFER, L. F. **A evolução do Concreto Armado** - 1998, p. 22.

LAVNITCKI, L.; BAUM, C. A.; BEEGATO, V. A. **POLÍTICA NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS: ABORDAGEM DA PROBLEMÁTICA NO BRASIL E A SITUAÇÃO NA REGIÃO SUL**, 2018. Ambiente & Educação ISSN- 1413-8638 E-ISSN - 2238-5533 v. 23, n. 3, p. 379-401, 2018.

LIBÂNIO, M. P.; CASSIANE, D. M.; SANDRO, P. S. **-ESTRUTURAS DE CONCRETO – CAPÍTULO 2**, 2004 USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas Características do Concreto, 2004.

MAIA, D. L. H. **Síntese de polímeros derivados de óleo de mamona com estireno e copolimerizados via radicais livres**. 2019. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MATOS, J. P. C.; ALENCAR, T. C. S. B. **D GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E A APLICAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA NO SEGMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**, 2019. Rev. Mult. Psic. V.13, N. 43, p. 784-807, 2019 - ISSN 1981-1179

ORTENZI JR., A. **A fibra de vidro em matrizes poliméricas e cimentícias e seu uso estrutural em construção civil** – O estado da arte. 2007. 205 f. Dissertação

(Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

PADILHA, F. J.; SILVA, M. S; GUIMARÃES, R. S; CEDANO, J. C. C; OLIVEIRA, D. M; DAMACENO, J. B. D; ACHETE, C. A.; FALCÃO, N. P. S. Uso da Espectroscopia Raman e FT-IR na Caracterização do Biocarvão em Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Rev. Virtual Quim.**, 9 (5), 1996-2006. ISSN. 1984-6835. Set. 2017.

PERUZZI, A. P. **Estudo das alternativas de uso da fibra de vidro sem características álcali resistente em elementos construtivos de cimento Portland.** 2007. 182 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PIMENTA, W. R. **Produção e caracterização de concreto com inserção de resíduos de isoladores elétricos.** 2022. 146 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2022.

SANTIN, C. K. **Hidrogenação e epoxidação de polidienos como alternativa para a obtenção de novos materiais.** 2008. 190 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

TAGLIAFERRO, E. R.; JUNIOR, E. A. **Junior Gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares em Suzano-SP** – Brazilian Journal of Development. Fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n2-033>.

VEERHUIS **Especificação.** Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2829721944-tela-de-fibra-de-vidro-p-reboco-e-isopor-1m-x-30m-_JM. Acessado em: 05/12/2023.

VIEIRA, L. F. **Estudo da viabilidade do resíduo proveniente das porcelanas de isoladores para utilização em concretos bombeáveis estruturais,** 2017. Universidade Federal de Goiás. Dissertação.

VOTORANTIM Cimentos – **Mapa da obra.** Disponível em: < https://www.mapadaobra.com.br/negocios/cimento-obras-estruturais-lajes-fundacoes-vigas/?doing_wp_cron=1709137779.3808519840240478515625#:~:text=O%20cim

ento%20Obras%20Estruturais%20%C3%A9,e%20desempenho%20de%20n%C3%A
Dvel%20industrial>, Acessado em 19 dez. 2023.