



Fundação Oswaldo Aranha
Centro Universitário de Volta Redonda
Mestrado Profissional em Materiais



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

RAFAEL DE AQUINO ALVARENGA

ORIENTADORA: Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

COORIENTADOR: Dr. Sérgio Roberto Montoro

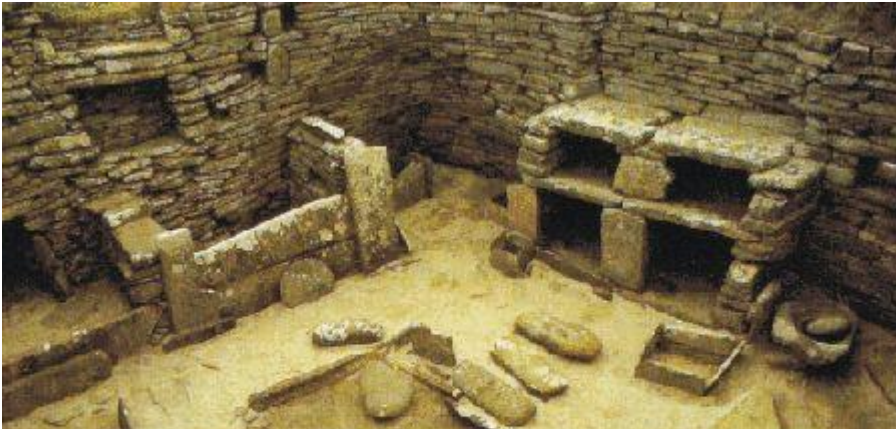
VOLTA REDONDA

Dezembro - 2023

ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO:

- 1. INTRODUÇÃO**
- 2. OBJETIVOS**
- 3. JUSTIFICATIVA**
- 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**
- 5. MATERIAIS E MÉTODOS**
- 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**
- 7. CONCLUSÕES**

1. INTRODUÇÃO:



- ➡ Pedras
- ➡ Barro
- ➡ Madeira
- ➡ Ferro e Aço

CONCRETO

Concreto

☞ material plástico, moldado para adquirir a forma desejada após o processo de endurecimento, com considerável aumento da resistência as solicitações

Cimento

Agregado Graúdo

Agregado Miúdo

Água

Aditivos



Evolução

Mistura de calcário e argila xistosa aquecidos naturalmente durante erupções



Cimento Portland

Queima de calcário e argila, finamente moídos, e misturados à altas temperaturas até que o gás carbônico seja retirado

Cimento Portland

Vantagens

- ☞ Durabilidade*
- ☞ Boa resistência à compressão*
- ☞ Baixo custo*

Desvantagens

- ☞ Baixa tenacidade*
- ☞ Baixa ductibilidade*
- ☞ Baixa resistência à fadiga*
- ☞ Baixa resistência ao impacto*

Novas Introduções visando atender a aplicação

Fibras e Telas

Estruturalmente interessantes

Tubulações de água

Tubulações de esgotos

Abertura vertical na alvenaria para facilitar a passagem de tubulações e instalações (Shaft)

Reparos

Aumentar à resistência



Proporciona Leveza e durabilidade!

Resíduos

Geram uma grande quantidade de resíduos provenientes dos recortes feitos para adequar o material na estrutura, que são descartados em lixões causando passivos ambientais indesejados.



2. OBJETIVO:

Geral

Produção de concreto a base de cimento Portland, com inserção de resíduos de tela de fibra de vidro para avaliação da performance e viabilidade de aplicação dos mesmos.

Específico

Reinserir na cadeia produtiva estes resíduos na porcentagem de 3% em massa, e realizar comparação com os dados do concreto convencional denominado referência.

3. JUSTIFICATIVA:

- Ambiental*** Diminuir o descarte e promover a reciclagem
- Econômico*** Aumentar o valor agregado do material outrora inservível e gerar renda para a população mais pobre
- Social*** Melhorar as condições de vida e dar emprego a uma fatia mais pobre da população

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

Concreto Material compósito formado, principalmente por: cimento, agregado graúdo e miúdo e água.

- *Fácil Moldabilidade*
- *Resistência à Compressão elevada*
- *Baixo Custo*



MATÉRIA PRIMA DO CONCRETO

Cimento

Atua como matriz e preenche os espaços entre os agregados, dando coesão ao sistema e atuando na distribuição das forças aplicadas.

Silicatos de cálcio triturados (clínquer)

Sulfato de cálcio (gesso)

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 – $(CaO)_4(Al_2O_3)(Fe_2O_3)$

Cimento Portland Estrutural CP-V RS

CP-V RS ou cimento estrutural resistente a sulfatos

Produção regulamentada pela norma NBR 16697/2018

Cimento estrutural com alta resistência mecânica, ultrarápida secagem, que possui resistência química a sulfatos quando exposto à ambiente agressivos, com qualidade e desempenho ao nível industrial.

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.

Resistência Inicial
11 MPa

Composição:

- ☞ Silicato de cálcio;
- ☞ Alumínio;
- ☞ Ferro;
- ☞ Filler carbonático;
- ☞ Pozolana



Suas características podem ser afetadas pela finura do cimento!

Agregados Miúdos

Preenche os espaços vazios entre os agregados graúdos, de forma a auxiliar a resistência mecânica do concreto.

Classificação:



Areia	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
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)

Agregados Graúdo (Brita)

É originária da fragmentação de rochas e possuem a função de dar, ao compósito, resistência mecânica, suportando parte da carga aplicada.

Classificação:



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

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.

Não pode apresentar resíduos industriais ou substâncias orgânicas visto que a presença de sais minerais e outros materiais podem prejudicam a resistência e durabilidade do concreto.



Aditivos

São produtos que visam melhorar propriedades tais como tempo de trabalhabilidade entre outros.

No entanto:

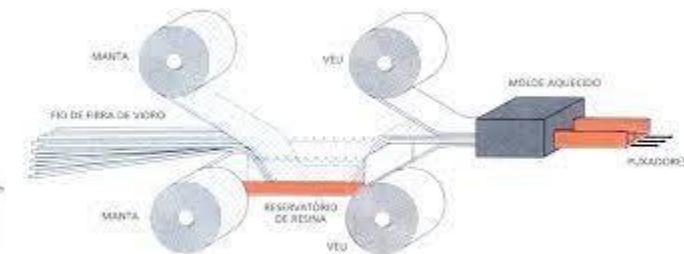
NÃO FORAM USADOS NESTE TRABALHO PARA EVITAR DADOS COM MAIS DE UMA VARIÁVEL.

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.

Classificadas em:

- ➡ Contínuas formando rovings
- ➡ Fibra de vidro picada
- ➡ Fibra de vidro pultrada



Telas

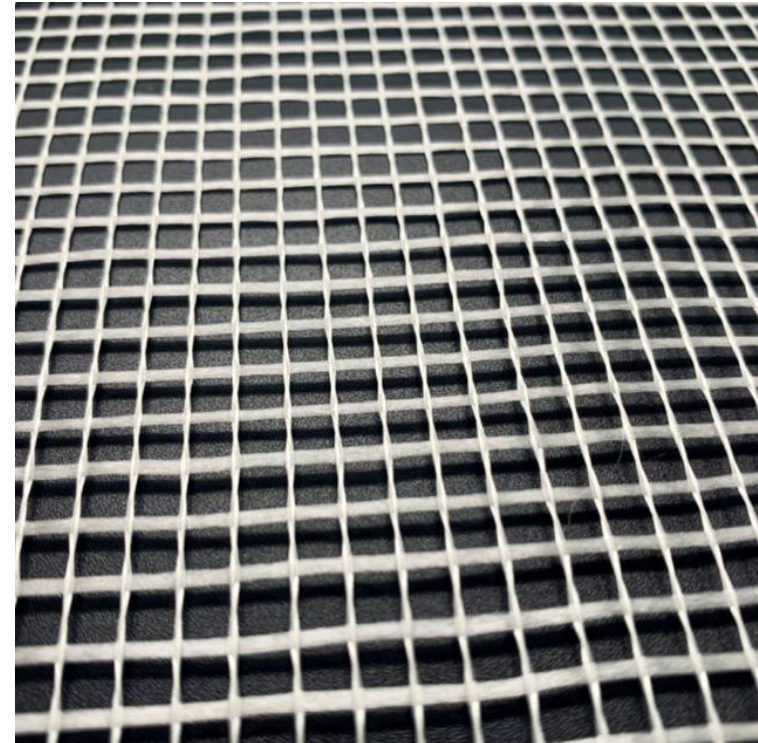
As telas ou mantas tem sua fabricação similar à tecelagem de tecidos de algodão, utilizando, no entanto, como fios os roving

Elas podem ser empregadas ou tratadas com materiais, especialmente de origem polimérica, de forma a apresentarem características mais interessantes a sua aplicação uma vez que este material podem sofrer influência do meio alcalino do cimento Portland.



Estas telas são muito usadas como reforços de estruturas de concreto armado ou para reparo de estruturas danificadas de forma à melhorar a durabilidade do material quando exposto as condições ambientais.

Suas características dependem da composição do fio, do número de fios e do tratamento recebido.



Resíduos

O Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi criado em 2012 e prevê uma gestão ambiental efetiva de forma à reduzir ou mitigar os resíduos sólidos, por meio de práticas de reutilização, descarte adequado, reciclagem ou por mudanças no processo de fabricação .

Para mitigar esses problemas, foi feita uma tentativa de reinserir esses resíduos na cadeia produtiva.



5. MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

☞ Resíduos de tela de fibra de vidro



Foram utilizados resíduos de tela de fibra de vidro doados pela empresa i-Tech.

Estes retalhos de material da marca Veerhuis foram picados em pequenos seguimentos de aproximadamente 3 cm a 5 cm.



➔ 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.



👉 Agregado Miúdo

Foi utilizado areia comum como agregado miúdo, oriundo dos rios da região Sul Fluminense que foi cedida pelo UniFoa, com granulométrica $<1,97$ a $1,97$ mm.



👉 Cimento

Utilizou-se o cimento Portland Estrutural Resistente a Sulfatos (CP V - RS) obtidos em lojas de materiais de construção.



Métodos

👉 Análise Térmica Simultânea (STA)

Equipamento PerkinElmer - modelo 6000

Para avaliar termicamente a tela de fibra de vidro utilizada na composição do material desenvolvido.

- Amostra: 10 mg,
- Faixa de aquecimento: 25 °C até 900 °C,
- Taxa: 10 °C.min⁻¹,
- Atmosfera inerte: nitrogênio,
- Fluxo gasoso de 20 ml.min⁻¹,
- Recipiente da amostra: alumina,
- Software: Pyris v12.1.

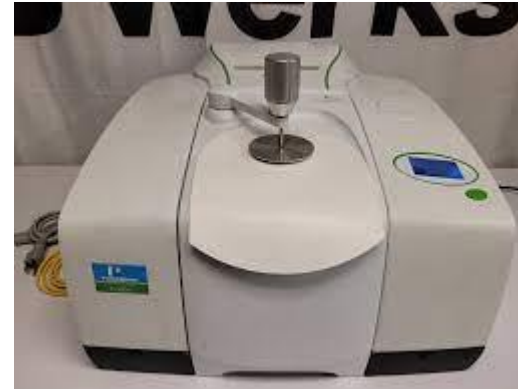


☞ Espectrometria de Absorção na Região do Infravermelho (FT-IR)

Spectrum One da PerkinElmer

Universal Attenuated Total Reflectance

(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 $0,2\text{ cm.s}^{-1}$ e torque de 80 N.

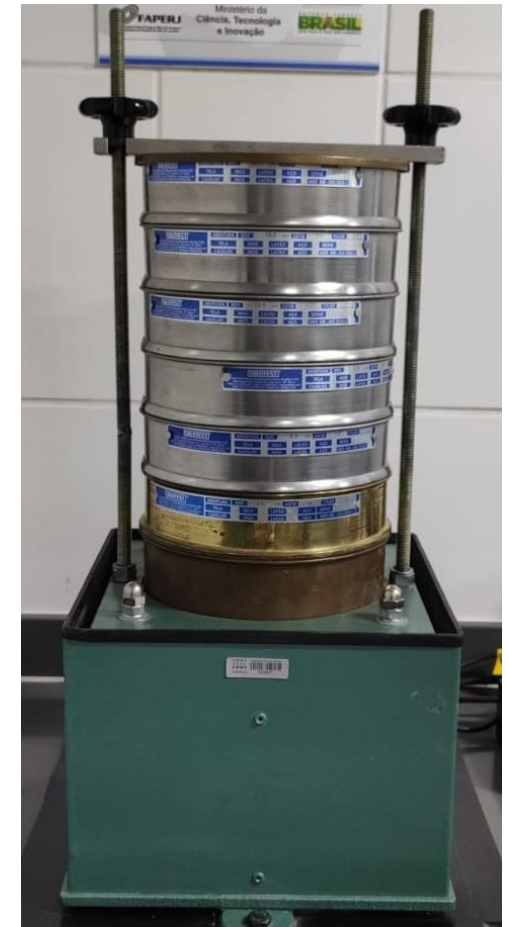


Filme fino após pirólise sobre uma célula de KBr (faixa 4.000 a 400 cm^{-1}). O ensaio foi realizado com ganho de 1, resolução de 4 cm^{-1} e 20 varreduras com velocidade de $0,2\text{ cm.s}^{-1}$.

👉 Granulometria dos Agregados

A análise granulométrica, baseado na NBR 7212, é um método físico utilizado para determinar o tamanho dos grãos dos agregados graúdo e miúdo e foi feita após secagem da amostra por 24 h em estufa à 105 °C.

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 15Hz por 10 minutos.



☞ Microscopia óptica

Foram utilizados dois diferentes microscópios.

Time IN - Modelo TIM-2005,

Luz transmitida,

Oculares WF10X (18 MM),

Lente PL10,

Razão de espectro de 0,25,

Camera digital Zeiss AxioCam Icc3

Microscópio óptico de reflexão OPTON,

Lentes PL10 e PL20,

Razão de espectro de 0,25 e 0,40,

Software ScopePhoto Vision x86, 3.1.615.

👉 Produção do concreto

A determinação das proporções de foi tomada de acordo com os dados na 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.

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

Para os corpos de provas foram adotadas a nomenclatura para o material sem acréscimo de Referência (Ref.) e o outro, com acréscimo de 3% de resíduo de tela de Adicionado (AC).

Substituição $kg.m^{-3}$					
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

☞ Corpos de prova para Ensaaios de Compressão

Os moldes foram preparados usando-se uma fina camada de óleo mineral na face interna e preenchidos com o concreto que foi adensado com uma haste de adensamento cilíndrica, de aço (NBR 5738).



Os corpos que estavam armazenados à temperatura de 25 °C, foram desmoldado 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.

👉 Expansibilidade de Le Chatelier

Visa determinar a expansibilidade da pasta e é baseada

na norma NBR 11582. Para tanto, utiliza-se uma agulha de Le Chatelier, juntamente com paquímetro de precisão.

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

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



☞ Tempo de início e fim de pega

Pode-se observar o início e final de pega do cimento ou seja o processo de endurecimento a partir do qual, a trabalhabilidade seja possível de acordo com a norma NBR NM6 utilizando-se um aparelho de VICAT.



👉 Ensaio de abatimento

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



👉 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O microscópio de varredura eletrônica opera a 5kV, 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.



👉 Compressão Uniaxial

Este ensaio foi baseado na NBR 5739 (2007), 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 substituído, em uma Máquina Universal de ensaios EMIC, modelo 100 kN da linha DL EMIC localizado no laboratório UniFoa.



6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

➔ 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.



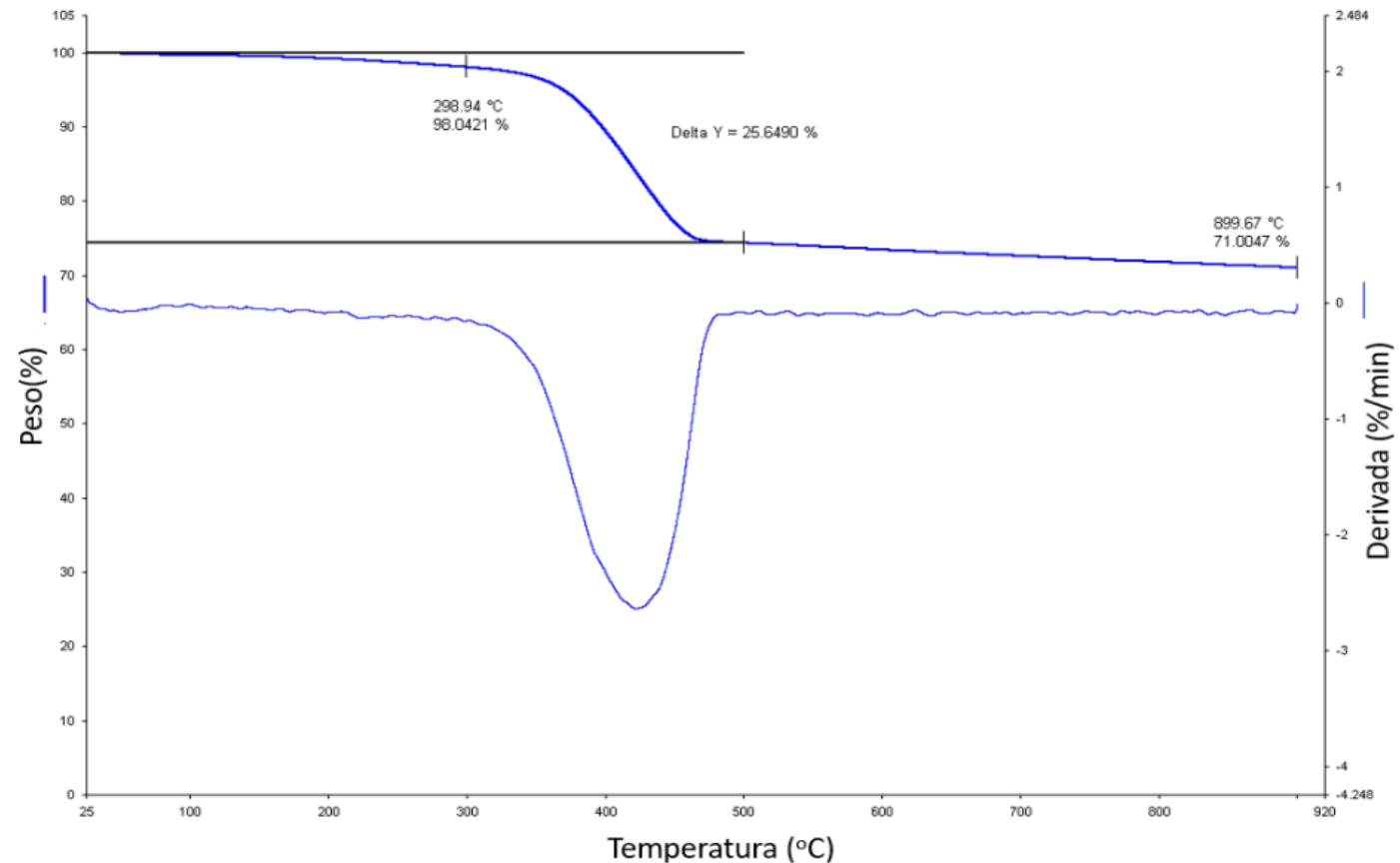
☞ STA

Decaimento inicial à 298,9°C;

Perda de massa de 25,6%;

A derivada apresenta um único pico que pode indicar um material puro como tratamento;

Material apresenta tratamento polimérico que pode prejudicar a ancoragem e a resistência à compressão.

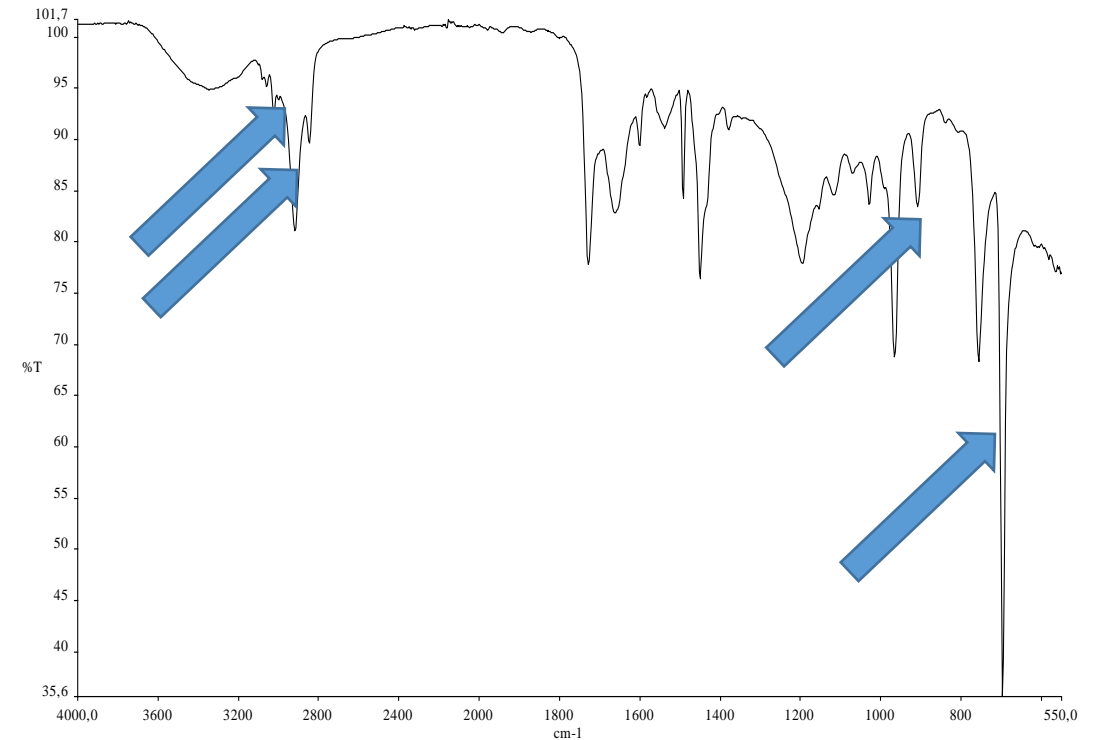


O resíduo à 900°C foi de 71,0% e corresponde, visualmente, a fibra de vidro.



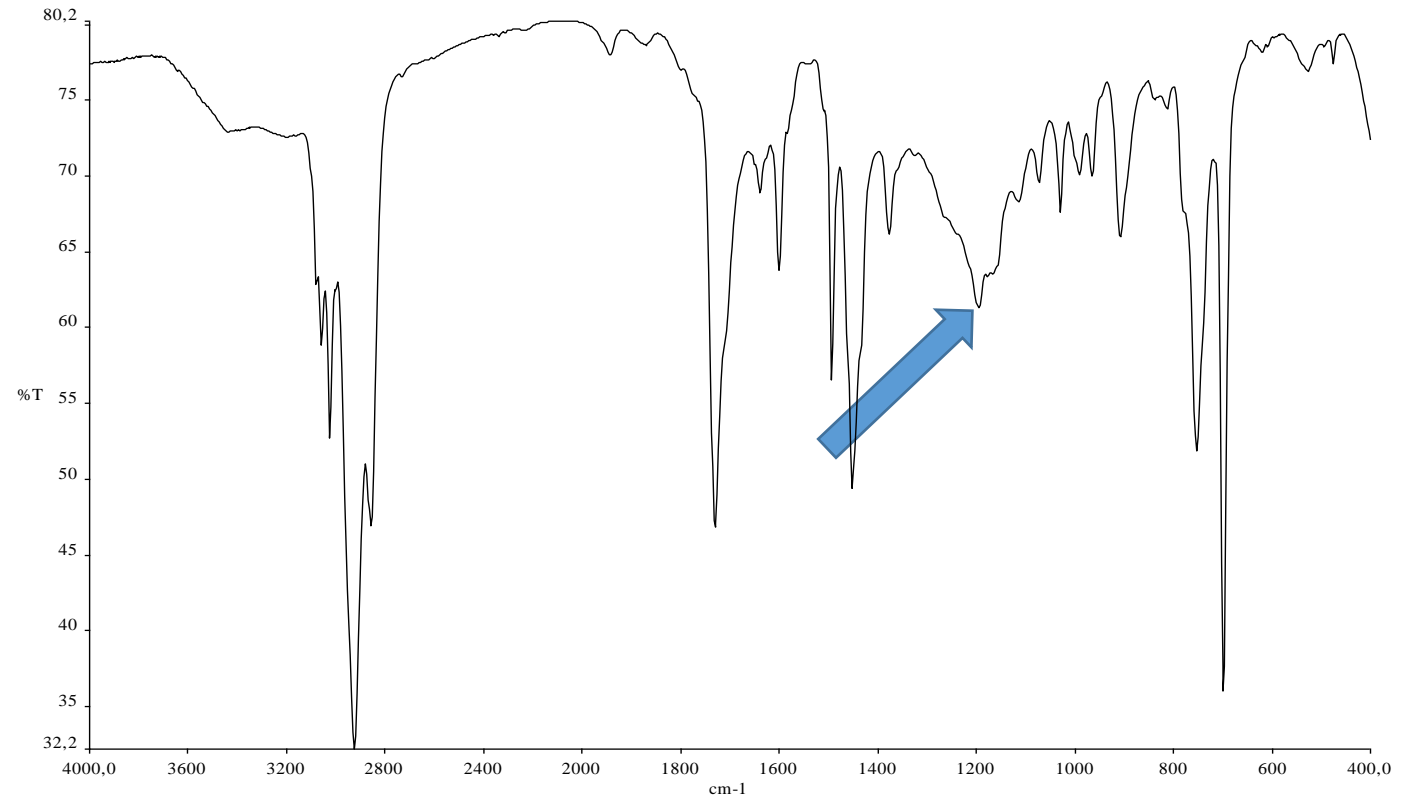
👉 FT-IR

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



UATR na tela sem tratamento

- Material é uma resina aromática,
- Pode ser estirênica ou epoxídica devido a banda 910 cm⁻¹
 - característica do anel oxirano ou epoxídico
 - vibração CH=C-H fora do plano da curvatura do estireno

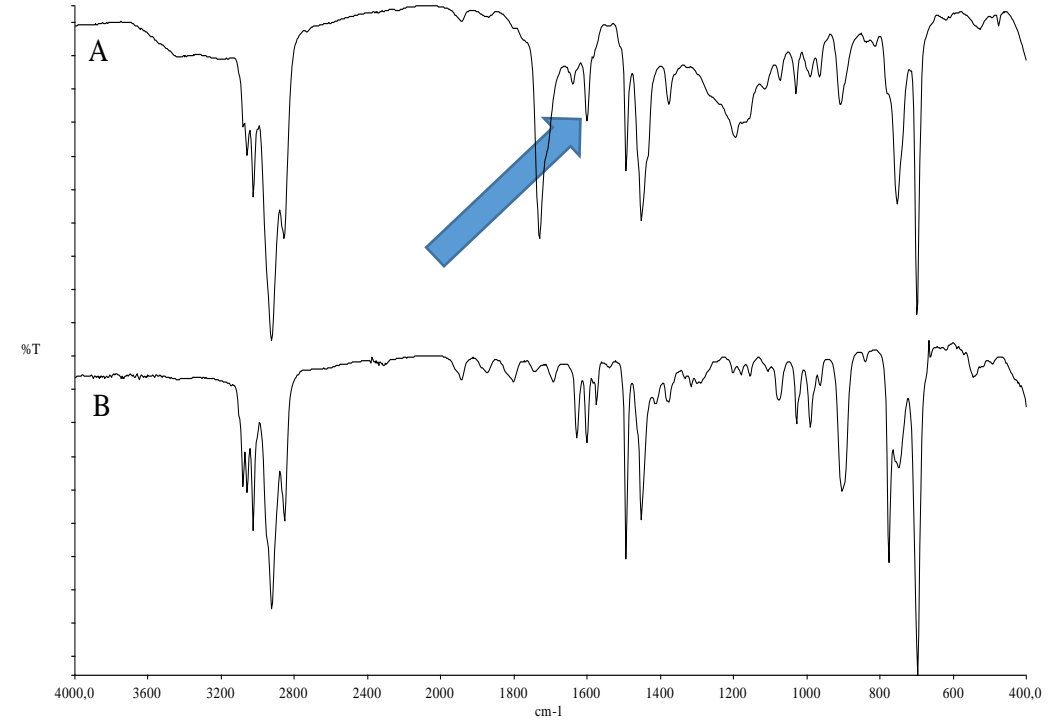


Filme fino com pirólise

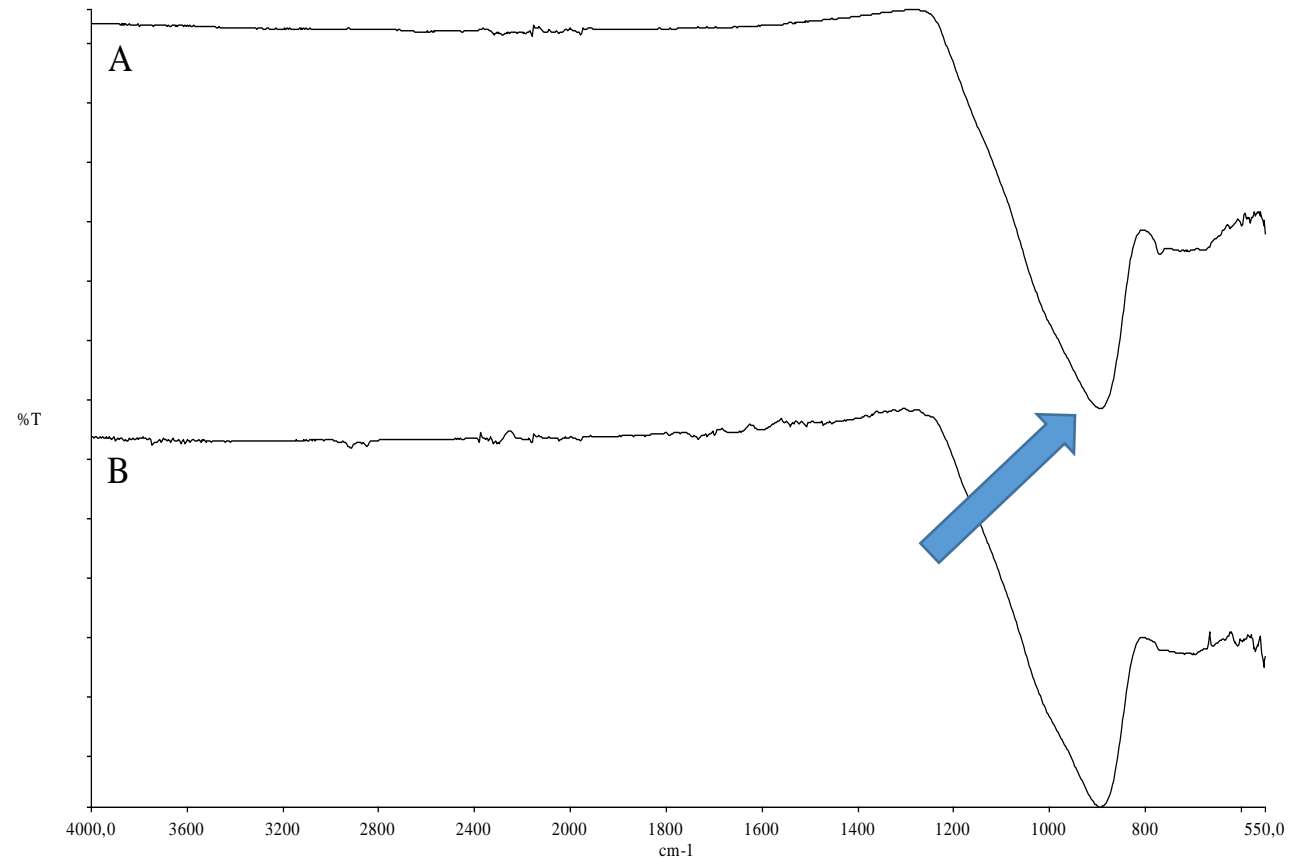
- banda, em 1200 cm^{-1} , que pode ser característica de resinas poliéster ou poliéter decorrentes do estiramento, no plano, do C-H presente nos anéis aromáticos,
- Elimina a presença de epóxi no meio.

Calibration Record

NIST SRM nominal cm ⁻¹	NIST SRM measured cm ⁻¹	TRM measured cm ⁻¹	Tolerance (from nominal) cm ⁻¹
3082.22	3082.20	3082.21	+/-0.5
3060.14	3060.14	3060.14	+/-0.5
2850.20	2849.99	2850.14	+/-0.5
1942.97	1943.38	1943.37	+/-0.5
1601.38	1601.38	1601.39	+/-0.5
1583.04	1583.20	1583.20	+/-0.5
1154.62	1154.72	1154.71	+/-0.5
1028.42	1028.55	1028.51	+/-0.5
906.82	906.78	906.76	+/-0.5



Banda em 1601 cm⁻¹ característica de poliestireno.



Banda em 895 cm⁻¹ característica de Si-O.

➔ Granulometria

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

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

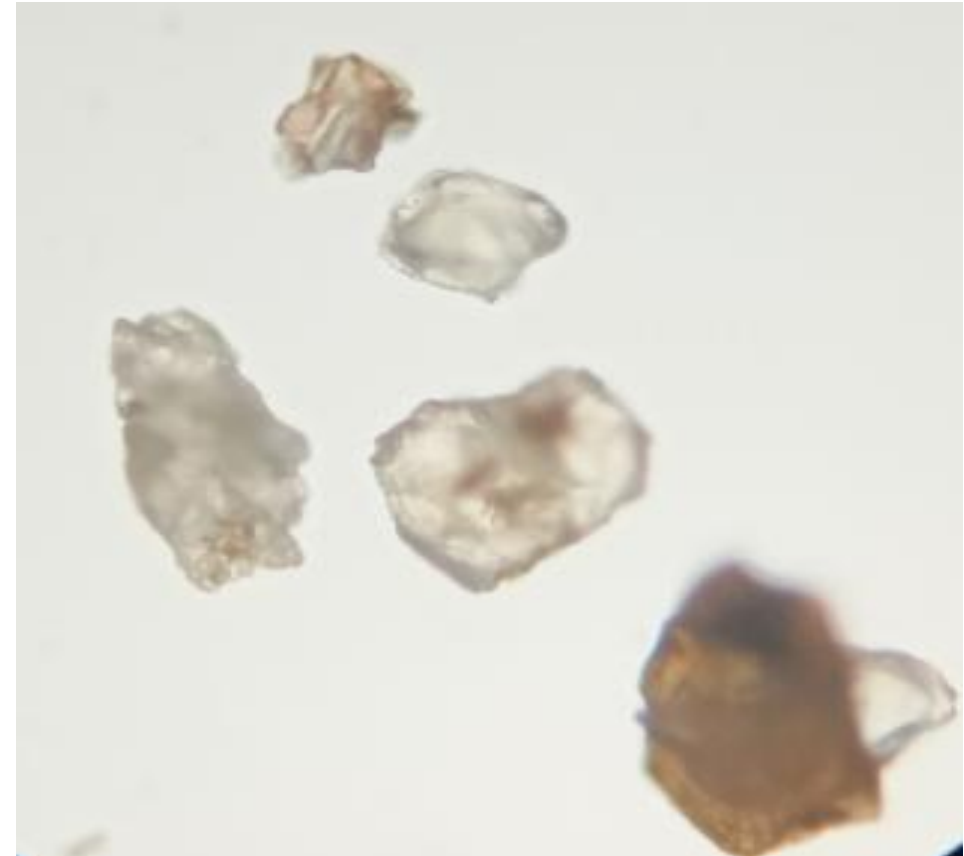
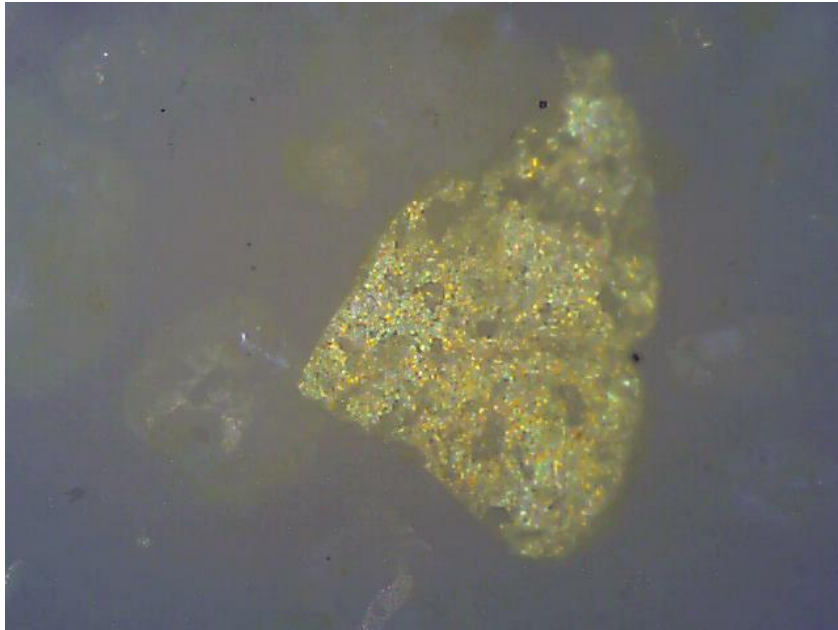
O material se apresenta dentro da granulometria padrão para areia muito fina (<1,97 mm a 1,97 mm) com baixo módulo de finura em comparação aos utilizados em Campos (2009) e Vieira (2017) mas de acordo com o utilizado por Pimenta (2022).

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

☞ Microscopia Óptica



➔ Expansividade de Le Chatelier

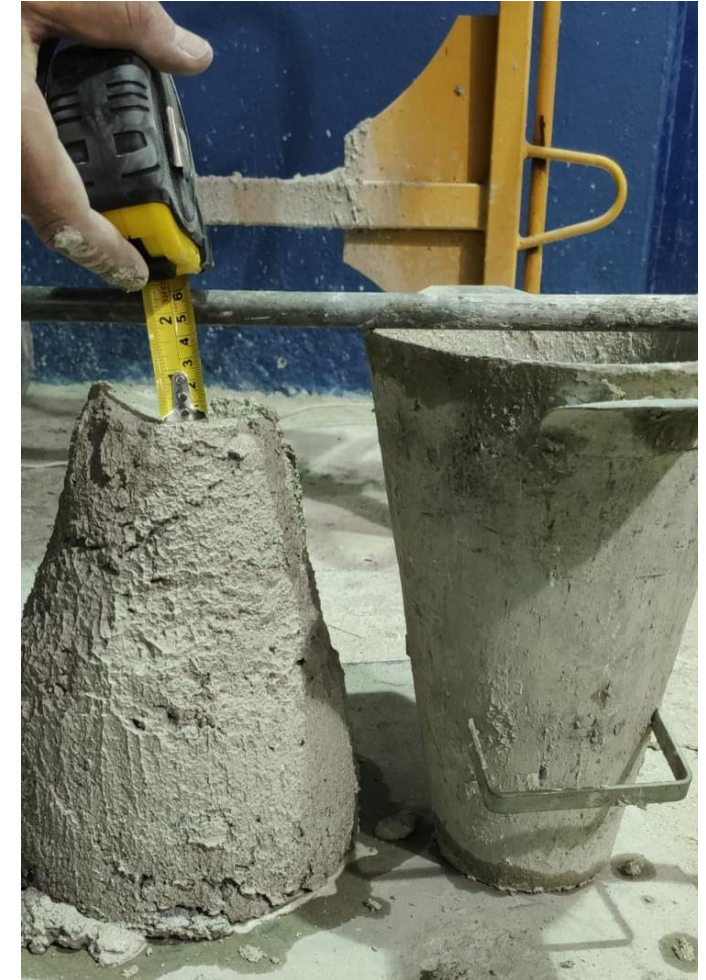
Baseado na NBR 11582, foi realizado o ensaio apenas na cura a frio com leitura após 7 dias. Com isso observou-se que o cimento CP-V RS apresenta uma taxa de expansibilidade elevada (10,1 mm) acima do valor máxima de 5,0 mm descrito pela NBR 16697, podendo acarretar problemas de trincas durante sua secagem.

☞ Início e Final de Pega

De acordo com a norma NBR NM 65 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 (1h 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.

👉 Ensaio de Abatimento

	Material	
	Referência	Acrescido
Valores(mm)	70	60



👉 Ensaio de Compressão Uniaxial

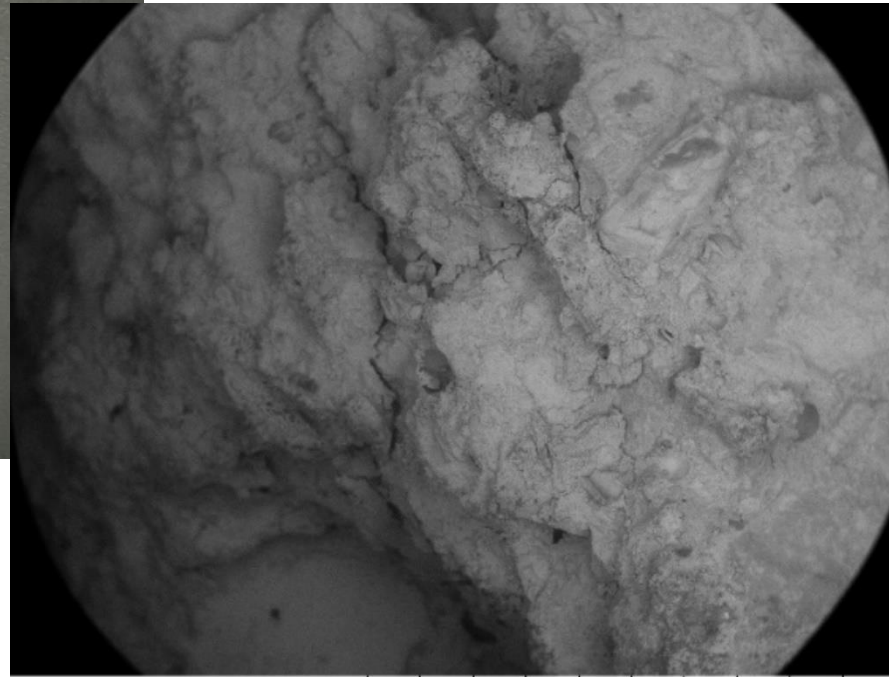
Resultados ensaio compressão concreto Referência

Dias de Cura	Resultados (MPa)	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão	Coefficiente 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					

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					

➔ Microscopia de varredura eletrônica (MEV)



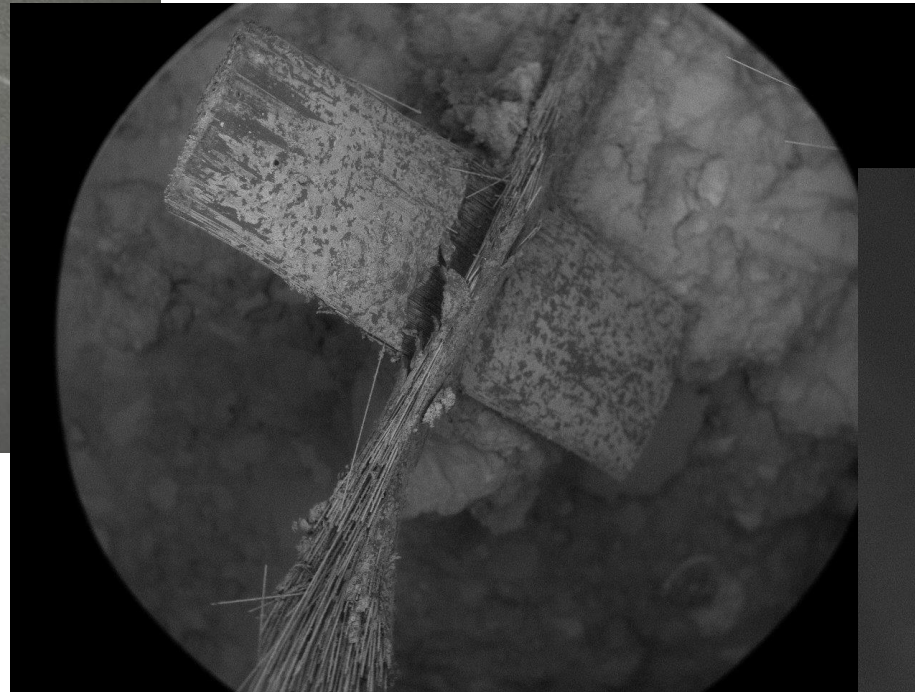
CON SEM AD

FL D6.8 x25 4 mm



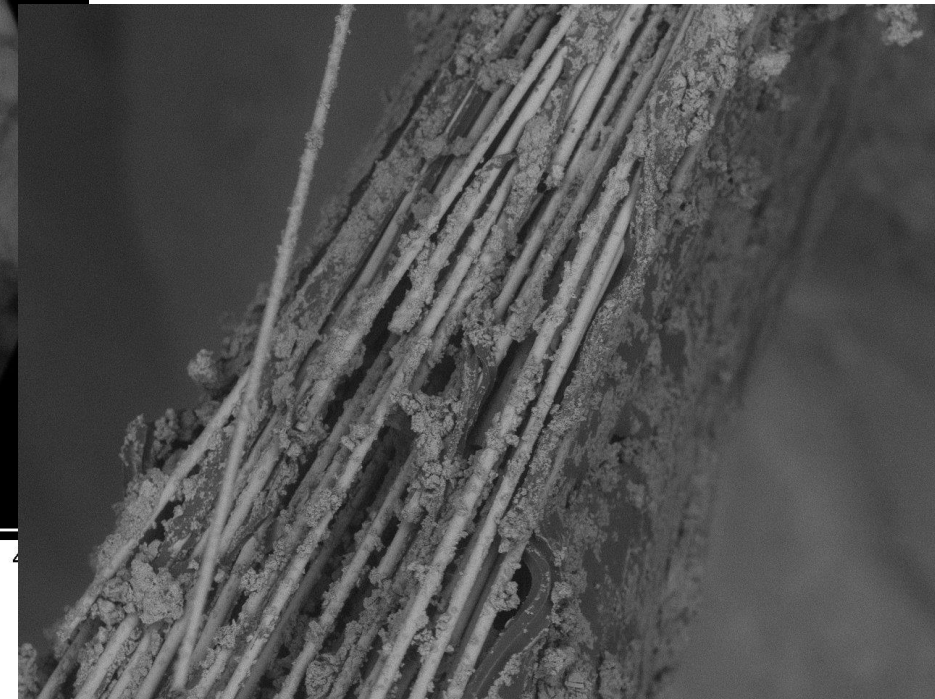
CON SEM AD

FL D7.9 x200 500 μm



CONCR ADIC

FL D5.3 x25



CONCR ADIC

FL D5.4 x200 500 um

7. CONCLUSÕES

Para o resíduo de tela de vidro acrescido, observar-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 diminuisse 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 28^o dia de cura, o que caracteriza o mesmo, para aplicações não estruturais tais como bloco, pisos, etc.

8. 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.



Fundação Oswaldo Aranha
Centro Universitário de Volta Redonda
Mestrado Profissional em Materiais



OBRIGADO!!!