

DESENVOLVIMENTO DE CONCRETO REFORÇADO COM MACROFIBRA SINTÉTICA PARA APLICAÇÃO EM PISO INDUSTRIAL

João Paulo Almeida Figueiredo

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

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

INTRODUÇÃO

- Construções arcaicas;
- Século XIX;
- Tecnologias construtivas.

OBJETIVOS

GERAL

- Analisar as alterações características do concreto com adição de macrofibra sintética.



OBJETIVOS

ESPECÍFICOS

- a) Apresentar as vantagens técnicas do uso de macrofibra sintética no concreto ao ser aplicado em piso industrial;
- b) Descrever as facilidades de execução utilizando concreto com macrofibra sintética;
- c) Demonstrar viabilidade de desempenho do concreto com e sem adição de macrofibra sintética em três formações de massa (macrofibra sintética) por volume (concreto) sendo: 0,00, 2,25, 4,00 e 6,25 kg/m³.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cimento e Tecnologias

- Egito;
- Roma;
- Descobertas em: 5.600 a.C. à 1.450 a.C;
- Século XIX - Joseph Aspdin;
- Tecnologias construtivas.

Macrofibra Sintética.



MESTRADO PROFISSIONAL
EM
MATERIAIS

UniFOA
Centro de Estudos
de Física Aplicada

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Concreto

- Amplamente utilizado na construção civil;
- Trabalhabilidade boa, assume todas formas;
- Diversos materiais usados na formação;
- É utilizado para atingir diversas resistências mecânicas em uma larga escala de tempo.

- Existem diversos tipos de Cimento Portland: CP I S, CP II E, CP II Z, CP II F, CP III, CP IV, CP V – ARI, CP RS, CP BC, CP B.

Agregados e Água

- Agregado graúdo;
- Agregado miúdo;
- Água.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tipos de Aditivos

ADITIVOS	
Tipo	Função
P	Aditivo Plasticante
R	Aditivo Retardador
A	Aditivo Acelerador
PR	Plastificante Retardador
PA	Plastificante Acelerador
IAR	Aditivo Incorporador de Ar
SP	Aditivo Superplastificante
SPR	Aditivo Superplastificante Retardador
SPA	Aditivo Superplastificante Acelerador

Fonte: ABNT NBR 11768, (2011).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Polímeros

- Polímeros Termoplásticos: tipo de polímero que quando sujeito à ação de calor, facilmente se deforma podendo ser remodelado e novamente solidificado mantendo a sua nova estrutura;
- Polímeros Termorrígidos: são polímeros cuja rigidez não se altera com a temperatura.



- As fibras estruturais de aço ou macrofibras sintéticas, possuem a mesma série de aplicações. De acordo com a área de domínio e projetistas;
- As fibras metálicas são feitas de arame trefilado a frio, chapas cortadas ou arame trefilado e escarificado. É resistente à tração, variando de 600 até 1.200 MPa. O módulo de deformação é de cerca de 200 GPa (ACELORMITTAL, 2022);
- A macrofibra sintética é um copolímero, ou seja, contém mais de um tipo de mero na cadeia. Geralmente, esse tipo de fibra ao se misturar com o concreto evidencia resistência à tração entre 620 e 685 MPa e módulo de deformação de 9 GPa (VIAPOL, 2022).



MACROFIBRA SINTÉTICA

- Macrofibra Sintética – VIAPOL:
TUF STRAND MAX TEN;
- Copolímero (contém mais de um tipo de mero na cadeia).
Macrofibra sintética.



Fonte: Viapol, 2022.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vantagem Técnica do Uso de Fibra Sintética no Concreto de Piso Industrial

Concretagem utilizando macrofibra sintética



MESTRADO PROFISSIONAL
EM
MATERIAIS



MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

- **Cimento** – Foi utilizado o cimento CP III 40 RS, embalagem de 50 kg, marca CSN.

Características físicas do cimento utilizado.

TIPO DE CIMENTO		CLINQUER E GESSO				ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO FORNO		MATERIAL CARBONÁTICO	
CP III		25 - 65				35 - 75		0 - 10	

Principais características físicas do Cimento CIII

Tipo de cimento	Classe	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO				FINURA Resíduo na peneira 75µm	TEMPO DE PEGA		EXPANSIBILIDADE	
		MPa 3 dias	MPa 7 dias	MPa 28 dias	MPa 91 dias		Início (min)	Fim (min)	À Frio (min)	A quente (min)
CP III	32	≥10	≥20	≥32	≥40	≤8,0	≤60	≤720	≤5	≤5
	40	≥12	≥23	≥40	≥48	≤8,0	≤60	≤720	≤5	≤5



Adaptado de CSN, 2022.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

- **Areia** – Foi utilizada com os tamanhos médios de 0,42 mm a 1,2 mm;
- **Brita** – Foi usada a brita 1 (\emptyset variando de 9,50 mm a 19,00 mm);
- **Água** – Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).

Areia e brita utilizada na pesquisa.



Fonte: Autor, 2022.



MESTRADO PROFISSIONAL
EM
MATERIAIS



MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

- **Macrofibra Sintética** – TUF-STRAND MaxTen da marca Viapol.
Macrofibra Sintética.



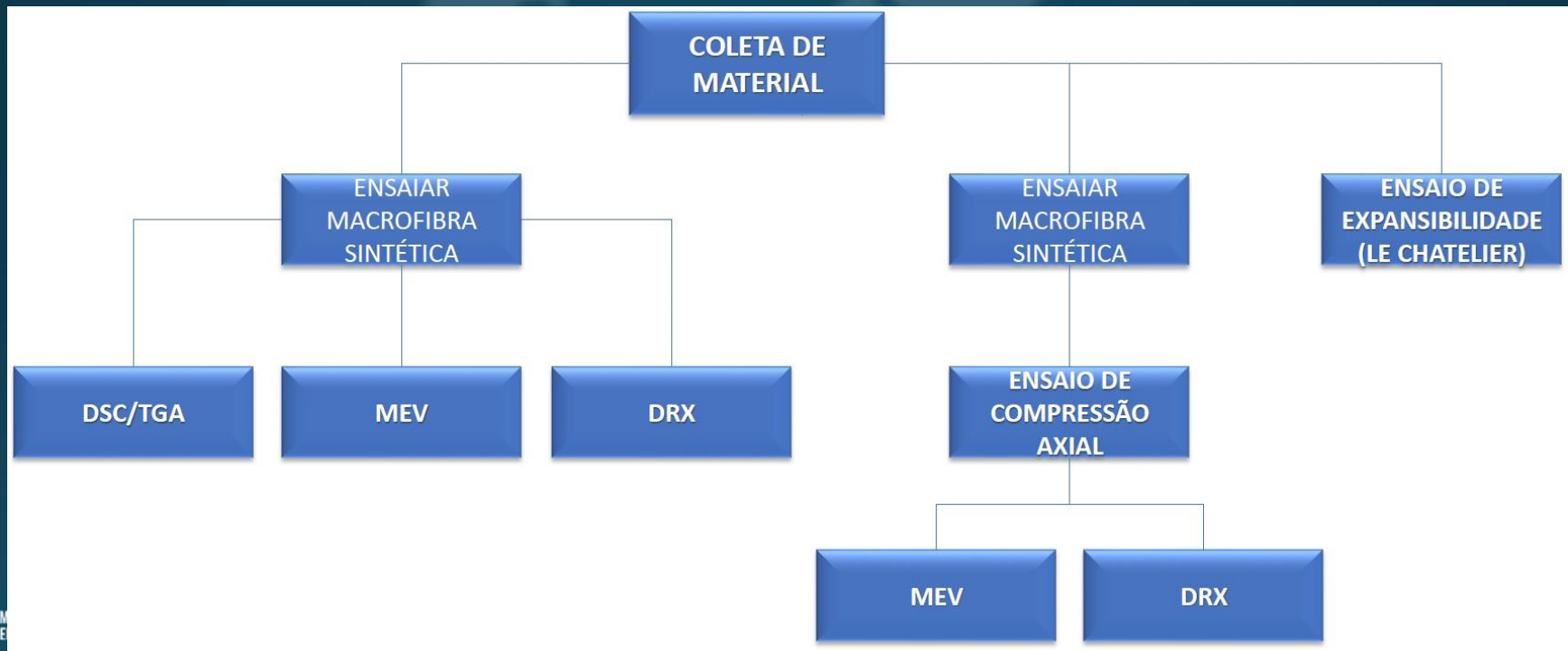
Fonte: Autor, 2022.

MATERIAIS E MÉTODOS – Macrofibra Sintética

Fabricante	Viapol	
Material	Copolímeros 100% puro	
Dosagem Recomendada	1,8 até 6,0 kg / m ³	
Densidade	0,91 kg /m ³	
Comprimento	51 mm	
Fator de Forma	102	
Resistência à Tração	620-685 MPa	
Ponto de Fusão	160 °C	
Fabricante	Viapol	
Módulo de Elasticidade	9,0 GPa	
Ponto de Inflamação (ASTM D1929)	330 °C	
Condutividade Elétrica e Térmica	Baixa	
Cor	Cinza	
Absorção de Água	Desprezível	
Resistência ao Álcalis e Ácidos	Excelente	
Validade	36 meses a partir da data de fabricação, embalagens originais e perfeitas	
Embalagens	Embalagens Plásticas de 5 kg	
Normas	Aplica-se o Código Internacional (ICC), cumprindo algumas partes conforme Critérios de aceitação AC32 para fibras sintéticas.	Atende os requisitos da norma ASTM C1116, "Especificação padrão para Concreto reforçado com fibra e concreto projetado"

MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODOS (ASPECTOS GERAIS)



MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterizar Macrofibra Sintética

- Calorimetria exploratória diferencial (DSC);
- Análise termogravimétrica (TGA);
- Análise no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Todos os ensaios foram realizados no laboratório da UniFOA.

Elmer STA 6000.



Fonte: Autor, 2022

HITACHI, modelo TM 3000.



Fonte: Autor, 2022.

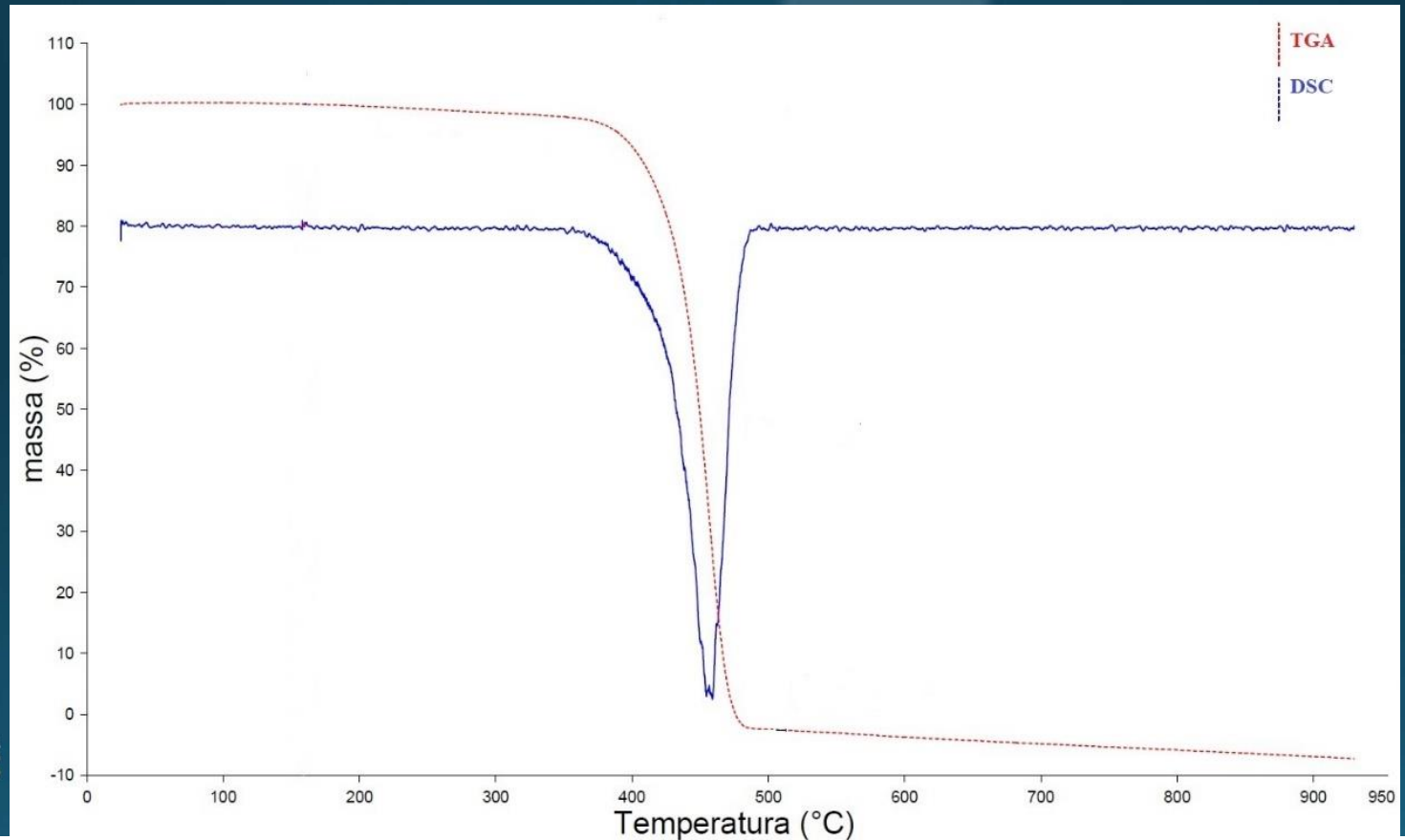
- Análise DSC e TGA: Este ensaio foi executado para que fosse verificada a estabilidade térmica do material.



MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: Análise DSC/TGA

Análises térmicas (DSC e TGA) da macrofibra sintética.



Fonte: Autor, 2022

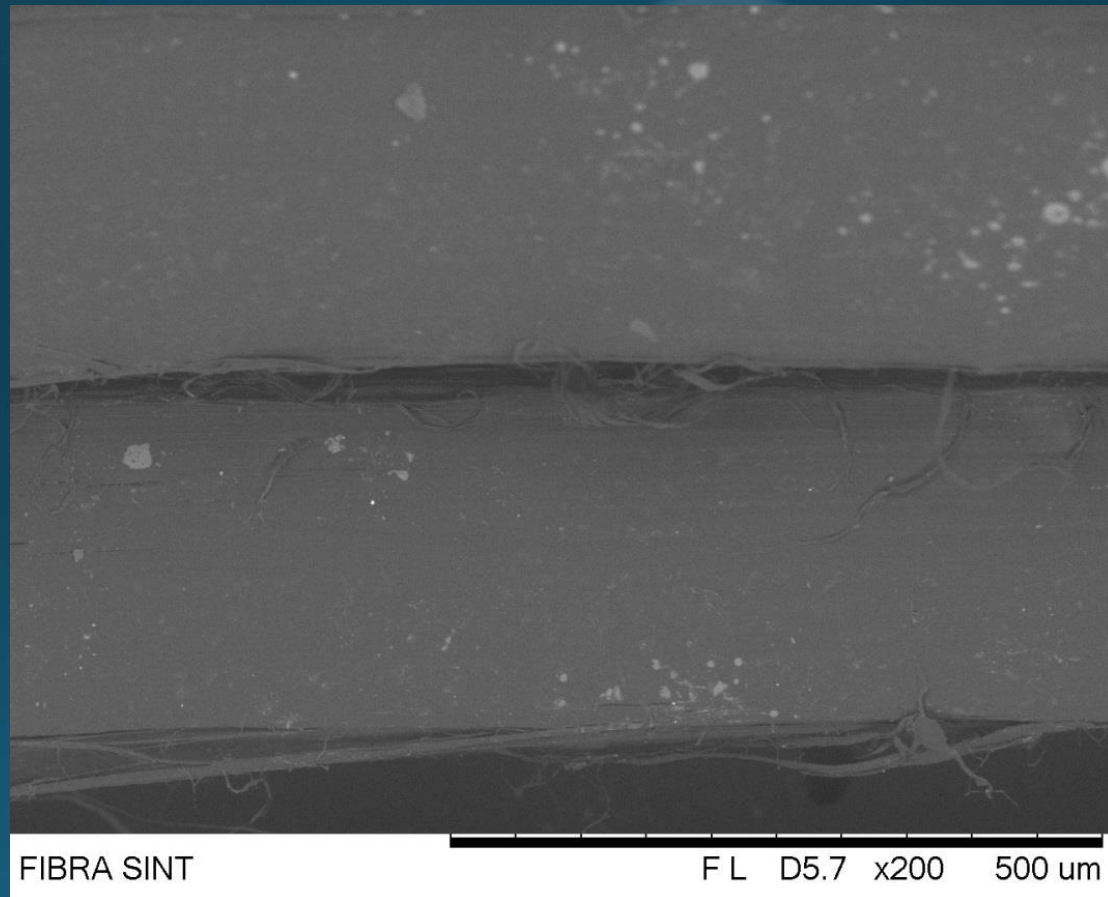
- Análise MEV: Foi feita alta aproximação da amostra (200x) para poder interpreta-la na análise MEV do compósito.



MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: MEV

Ampliação de 200X da macrofibra sintética.



MESTRADO PROFISSIONAL
EM
MATERIAIS



Fonte: Autor, 2022.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do Compósito

- Ensaio mecânico de resistência à compressão axial (utilizando a prensa EMIC, modelo PC 150C);
- Análise MEV;
- Análise DRX;
- Ensaio de expansibilidade: Le Chatelier, NBR 11582 (1991).

Todos os ensaios foram realizados no laboratório da

UNIFOA. Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), marca HITACHI, modelo TM 3000.

Difratômetro da marca Shimadzu, marca Shimadzu, modelo XRD 6100.



Fonte: Autor, 2022.



Fonte: Autor, 2022. 23/41



MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do Compósito

- O concreto utilizado para amostragem foram: Fck 25 e 40 MPa, aos 7 e 28 dias;
- O *slump* de 10+/-2 cm foi encontrado em todas as medições.

Slump Test.



Forma dos CP's ensaiados segundo NBR 5738 (2015).

CP: Compressão Axial
Cilíndrica, 10 x 20 cm
Forma de metal
Misturado na Betoneira



MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS Fonte Autor, 2022

Tabelas dos resultados nos próximos três slides.

MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: Resistência à Compressão Axial – Aos 7 dias

Fck (MPa)	Identificação: kg/m³ de Marcofibra Sintética no Concreto	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação(%)
25	0,0	16,53	0,80	4,85
	2,25	17,13	0,69	4,04
	4,0	18,94	0,51	2,86
	6,25	18,96	0,49	2,60
40	0,0	20,49	1,61	7,83
	2,25	25,47	3,70	14,54
	4,0	22,10	2,80	12,65
	6,25	22,90	2,49	10,89



MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: Resistência à Compressão Axial – Aos 28 dias

Fck (MPa)	Identificação: kg/m³ de Marcofibra Sintética no Concreto	Média (MPa)	Désvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação(%)
25	0,0	27,29	1,35	4,95
	2,25	26,41	1,52	5,76
	4,0	25,41	1,65	6,49
	6,25	25,56	2,49	9,72
40	0,0	35,86	0,86	2,40
	2,25	36,45	2,19	6,02
	4,0	35,31	3,16	8,93
	6,25	36,74	3,82	10,29



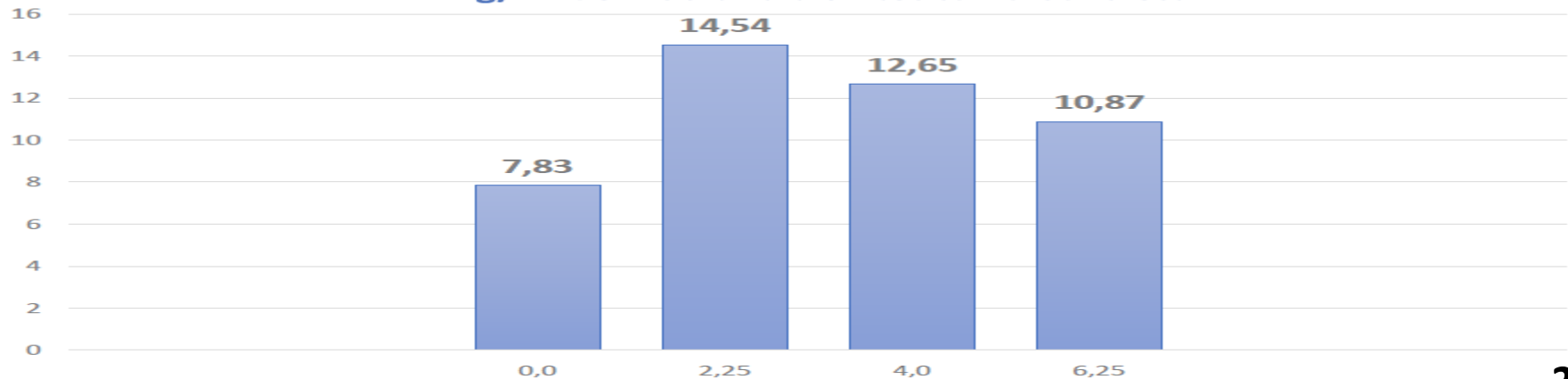
MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: Resistência à Compressão Axial

Fck 25 MPa aos 7 dias: Coeficiente de Variação com 0,0, 2,25, 4,0 e 6,25 kg/m³ de Macrofibra Sintética no Concreto



Fck 40 MPa aos 7 dias: Coeficiente de Variação com 0,0, 2,25, 4,0 e 6,25 kg/m³ de Macrofibra Sintética no Concreto



MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: Resistência à Compressão Axial

Fck 25 MPa aos 28 dias: Coeficiente de Variação com 0,0, 2,25, 4,0 e 6,25 kg/m³ de Macrofibra Sintética no Concreto



Fck 40 MPa aos 28 dias: Coeficiente de Variação com 0,0, 2,25, 4,0 e 6,25 kg/m³ de Macrofibra Sintética no Concreto



MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do Compósito

- Análise MEV: Foi feita alta aproximação da amostra (200x) para entender a morfologia do compósito.

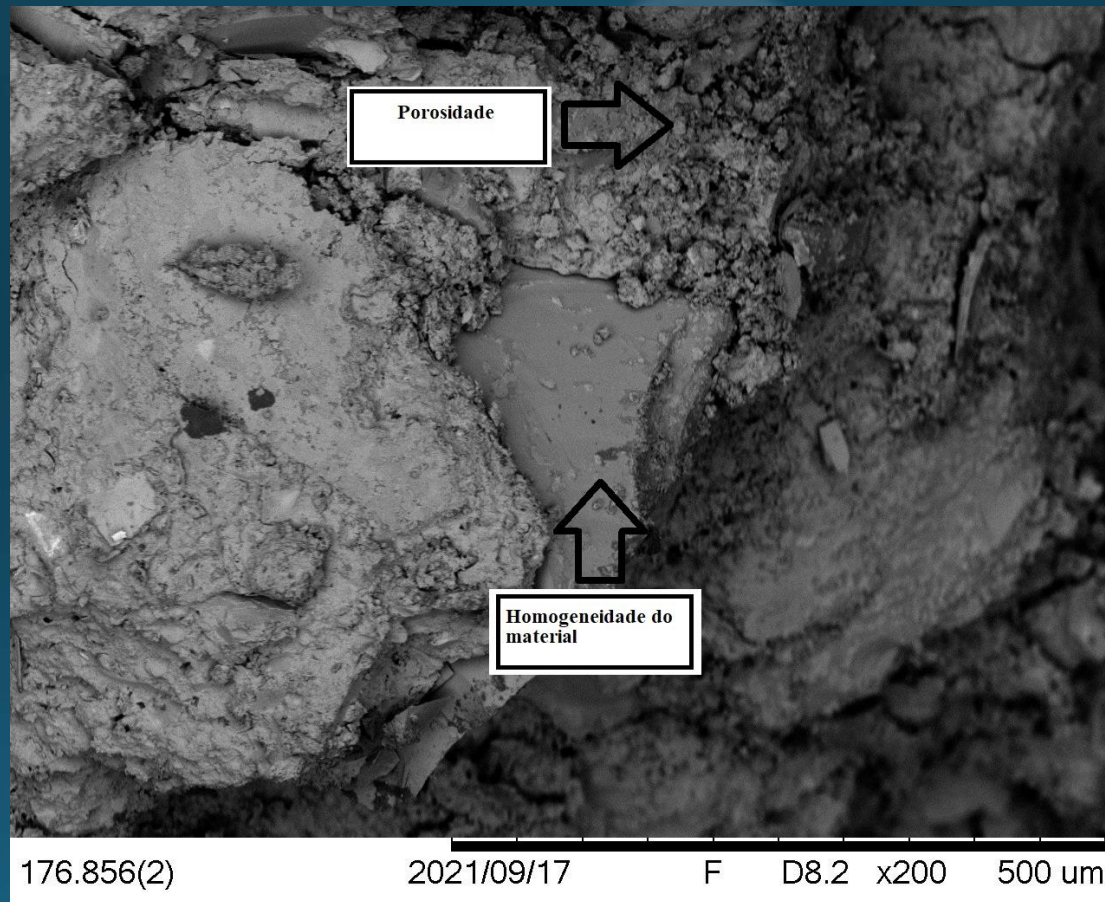
Resultados nos quatro slides seguintes.



MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: MEV

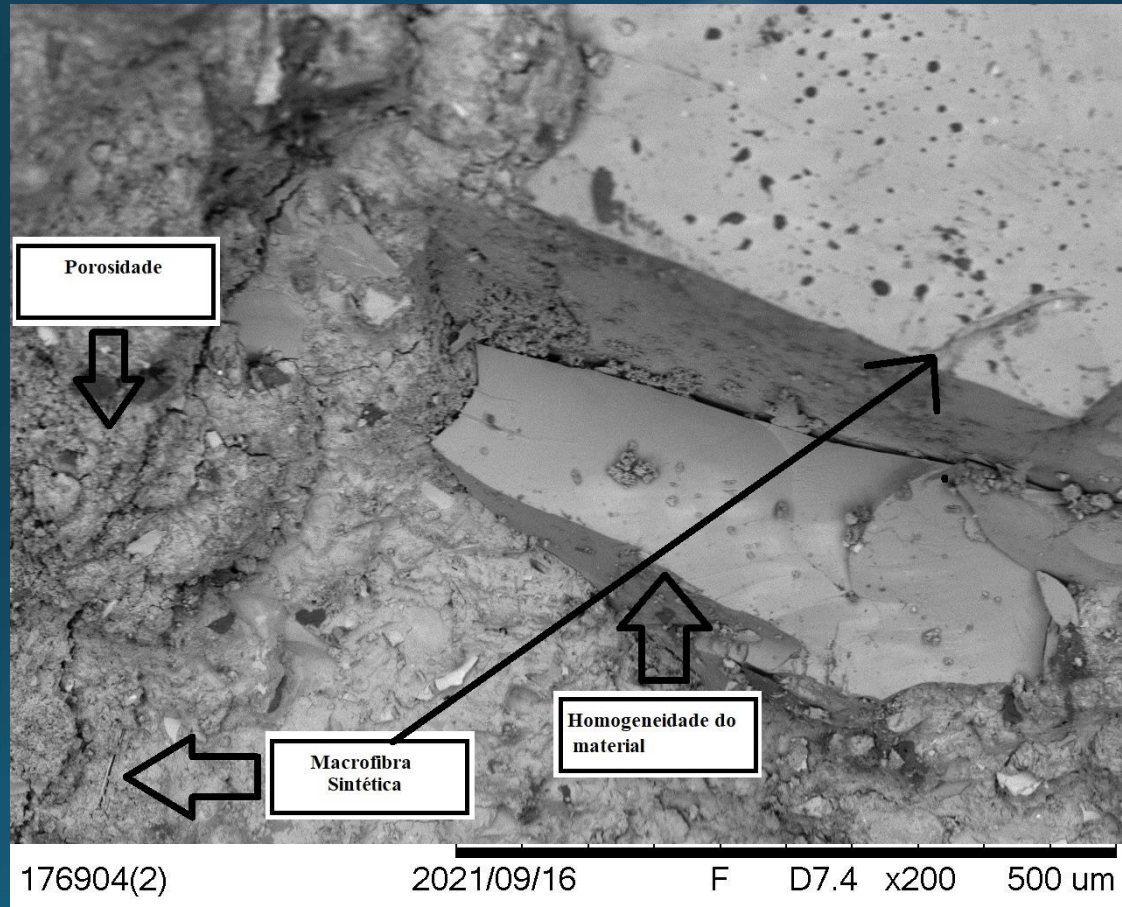
Ampliação de 200X do fragmento do corpo de prova sem a utilização de macrofibra sintética.



MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: MEV

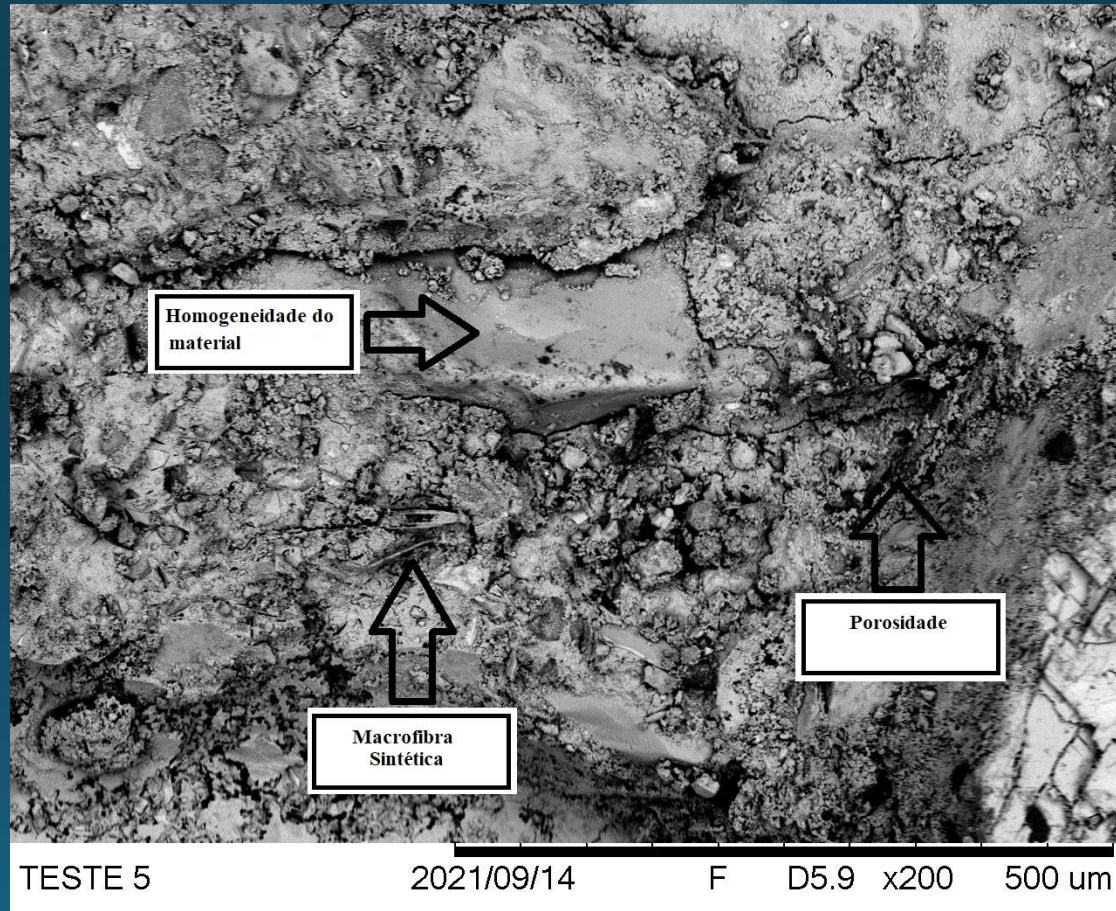
Ampliação de 200X do fragmento do corpo de prova com a utilização de 2,25 kg/m³ de macrofibra sintética.



MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: MEV

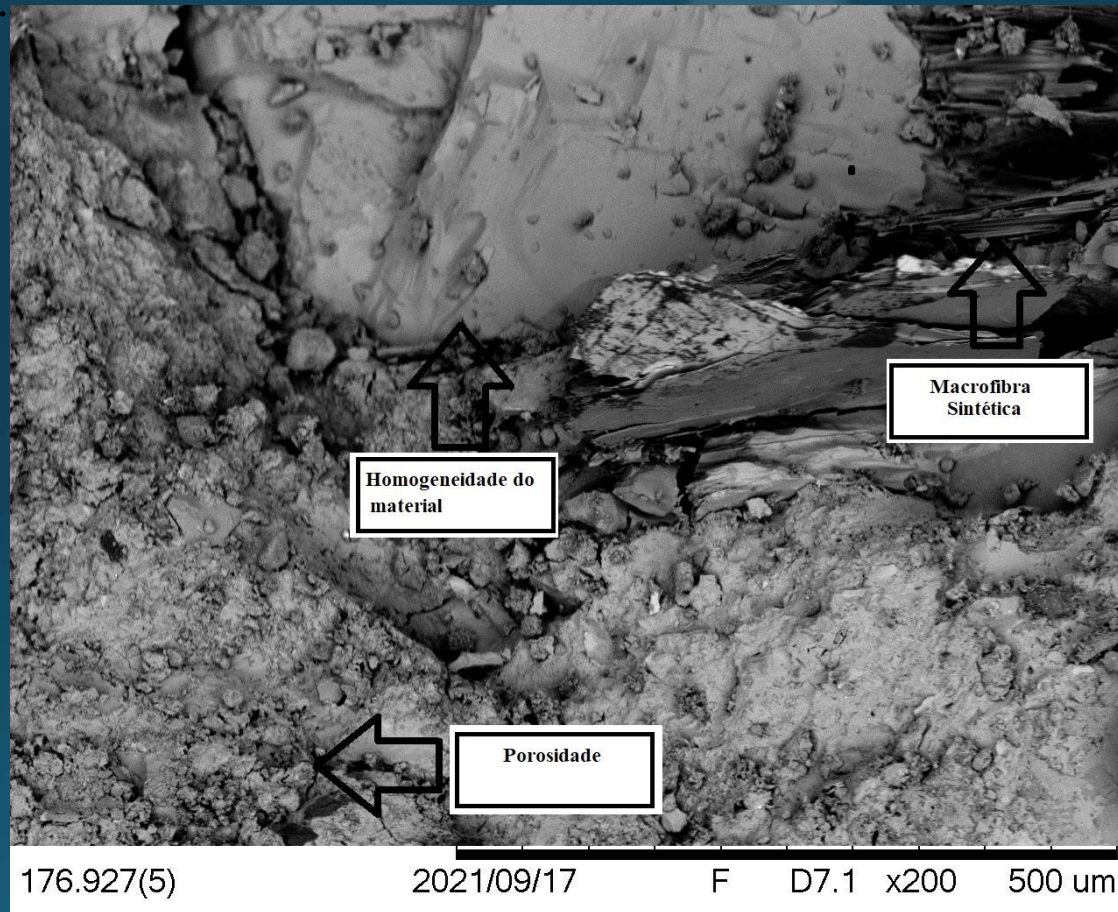
Ampliação de 200X do fragmento do corpo de prova com a utilização de 4,25 kg/m³ de macrofibra sintética.



MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: MEV

Ampliação de 200X do fragmento do corpo de prova com a utilização de 6,25 kg/m³ de macrofibra sintética.



MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do Compósito

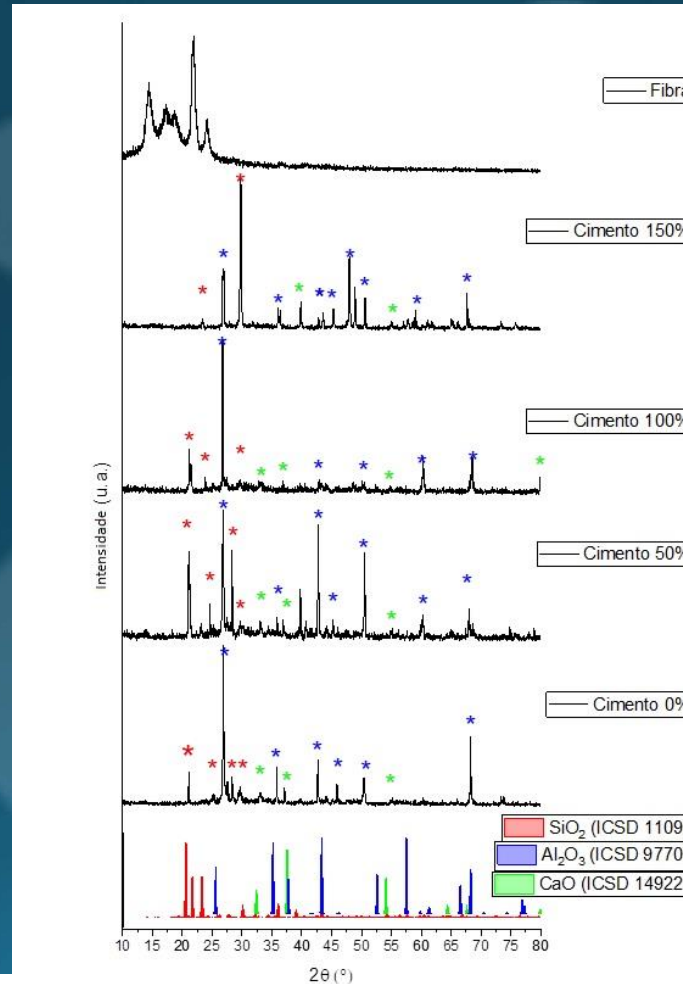
- Difração de raio-x: Foi feito para caracterizar a estrutura cristalina do compósito.



MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: DRX

Difratograma do produto.



MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do Compósito

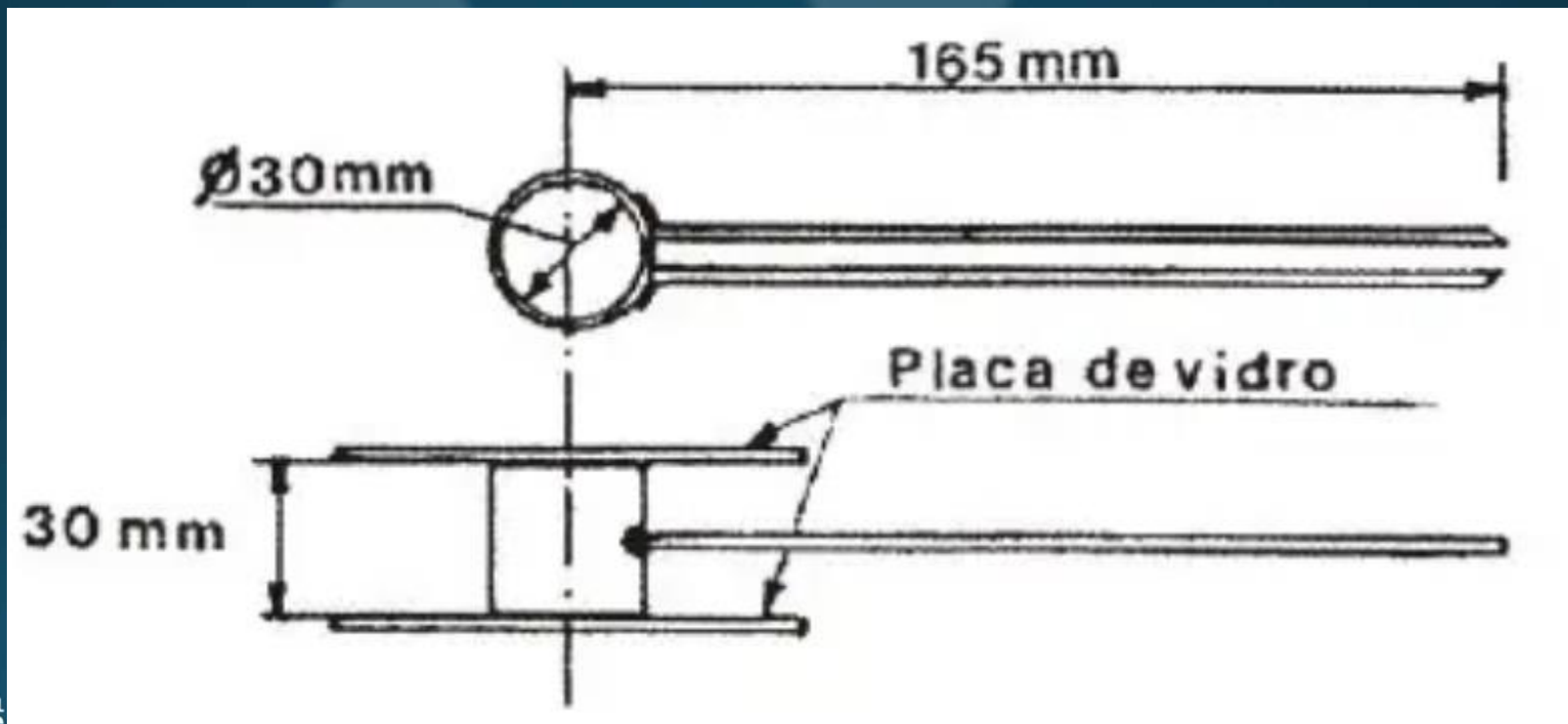
- Ensaio de expansibilidade: Executado pelo método das agulhas de Le Chatelier.



MESTRADO PROFISSIONAL
EM
MATERIAIS



Ensaio de expansibilidade – Le Chatelier.



Fonte: NBR 11582 (1991).

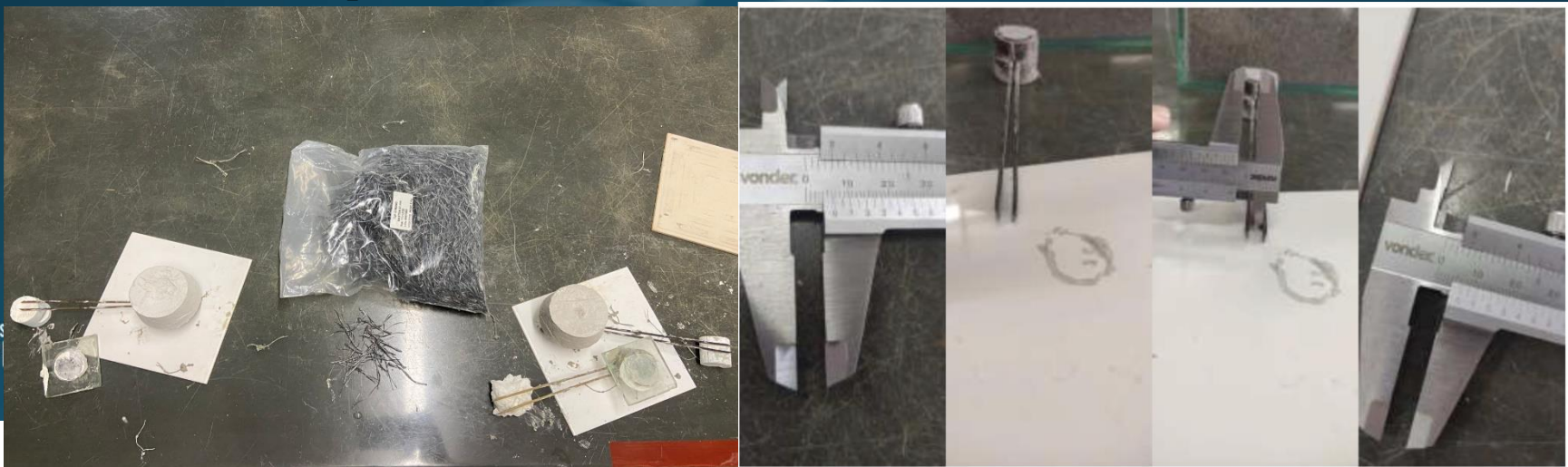


MATERIAIS E MÉTODOS

Resultados e Discussão: Ensaio de expansibilidade (Le Chatelier)

- Foi feita uma pasta de cimento com: 507g de cimento *Portland* CP III 40 RS, 50 ml de água e 73g de macrofibra sintética para medir a expansibilidade da mistura;
- Os resultados das três amostras foram: 1,7, 2,2 e 4,0 mm. Média = 2,63 mm.

Ensaio de expansibilidade da macrofibra sintética com o cimento *Portland*.



Fonte: Autor, 2022.

CONCLUSÕES

Conclui-se que, foi possível analisar as características do concreto reforçado com macrofibra sintética e visto que o mesmo não sofreu algum tipo de anomalia.

Apresentou-se as vantagens técnicas e facilidade na execução de obra usando a macrofibra sintética no concreto com aplicação em piso industrial. Como: ganho de trabalhabilidade na aplicação, mitigação de erros de execução, rapidez para a execução (ganho de tempo), se tornando alternativa as telas de aço para o concreto armado.

A viabilidade de desempenho em todas as proporções deste estudo foram vistas nas caracterizações como satisfatória.

CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos nos laboratórios, as análises térmicas da macrofibra sintéticas são inertes até 310°C. Já no compósito concluiu-se que não aconteceu perda de resistência mecânica com a adição deste produto nas três proporções estudadas para o Fck 25 MPa, já no Fck 40 MPa, houve uma variação na média das amostras, sendo de 35,31 à 36,74 MPa aos 28 dias, inclusive no padrão (0,0 kg/m³ de adição de macrofibra sintética), mas conforme a NBR 5739/07, a resistência é crescente, devendo ser acompanhada até os 63 dias.

As amostras que receberam a dosagem de 6,25 kg/m³ deste material, através da análise MEV, ficou claro que o concreto não ficou homogeneizado, diferentemente das demais amostras com dosagens inferiores. Isso é justificado pelo fato da dosagem ter sido superior a recomendação típica do fabricante e também pela betoneira utilizada ter

sido a CSM, modelo 150L com rotação de 34 rpm e não um caminhão betoneira que recebe o concreto dos misturadores da usina e mantém



CONCLUSÕES

ao transportar com rotação de 2 a 3 rpm. O fabricante Viapol (2022) recomenda a utilização do produto através do concreto usinado.

A macrofibra sintética não possui expansibilidade como é visto no ensaio de Le Chatelier, sendo seus resultados em todas as proporções inferiores a 5,0 mm, assim como o do cimento *Portland* utilizado nesta pesquisa, segundo o próprio fabricante (CSN, 2022).

O compósito desenvolvido desta pesquisa apresentou resultados técnicos e científicos satisfatórios, tornando-se viável a adição de macrofibra sintética como alternativa para substituição de armaduras pelos calculistas estruturais.

Assim sendo, esse trabalho contribuiu para redução da dúvida em utilizar este produto e afirma a existência de alternativas construtivas para esta