

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Vinícius Augusto Hermes

**AVALIAÇÃO TEÓRICA EXPERIMENTAL DA ADIÇÃO DE MALHA  
DE FIBRA TÊXTIL EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO**

Santa Cruz Do Sul

2023

Vinícius Augusto Hermes

**AVALIAÇÃO TEÓRICA EXPERIMENTAL DA ADIÇÃO DE MALHA  
DE FIBRA TÊXTIL EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade de  
Santa Cruz do Sul – UNISC, para obtenção do  
título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof.M.Sc Henrique Rupp

Santa Cruz Do Sul

2023

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos aqueles que me ajudaram ao longo desta jornada acadêmica e me permitiram alcançar este marco importante em minha vida. Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Henrique Rupp, pela orientação excepcional e apoio contínuo durante todo o processo de pesquisa. Agradeço também aos meus amigos e colegas de classe que me incentivaram e apoiaram durante todo o período de estudo.

Não posso deixar de expressar minha imensa gratidão à minha namorada Taiane. Seu amor, apoio e compreensão foram fundamentais para esta reta final de graduação. Sua presença constante foi uma fonte inesgotável de motivação e força, e por isso, sou profundamente grato.

Por fim, não poderia deixar de agradecer à minha família, especialmente ao meu pai Mauro e minha mãe Tânia, pelo amor incondicional, apoio e encorajamento ao longo da minha vida e durante todo o processo de estudo. Sem eles, nada disso seria possível.

Novamente, agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e me ajudaram a alcançar esta importante conquista acadêmica.

## RESUMO

A partir de estudos sobre os benefícios da incorporação de fibras curtas no concreto, surgiu na década de 1990, na Alemanha, uma técnica conhecida como concreto têxtil (CT). Essa técnica consiste em inserir reforços têxteis na matriz cimentícia, posicionando-os nas áreas mais exigidas das peças de concreto, a fim de fornecer reforço estrutural. Os materiais têxteis utilizados são altamente resistentes à corrosão, o que permite uma cobertura muito menor em comparação com estruturas de concreto armado convencional. Como resultado, as estruturas feitas com concreto têxtil podem ser mais leves e com dimensões reduzidas, o que traz benefícios tanto em termos estruturais quanto arquitetônicos. Além disso, o uso de concreto têxtil pode melhorar a durabilidade das estruturas, uma vez que a corrosão é um problema comum nesse tipo de material. (Leuck, 2018)

No entanto, é importante destacar que o concreto têxtil requer uma matriz cimentícia de alta performance em comparação com os concretos convencionais. Embora existam modelos numéricos em desenvolvimento para projetos com elementos de CT, a verificação do comportamento desse compósito é realizada por meio de ensaios. Em relação ao seu desempenho mecânico, as principais análises concentram-se na capacidade de resistir às tensões de tração, que são avaliadas por meio de ensaios de tração direta e tração na flexão. Até o momento, estruturas contendo concreto têxtil são encontradas principalmente na Europa, onde foram construídos painéis de fachada, painéis sanduíche, passarelas e outros elementos.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento mecânico de vigas reforçadas com concreto têxtil, utilizando têxteis de fibra de vidro álcali-resistentes (AR) além da verificação de resultados teóricos, comparando-os com o resultado real.

As vigas reforçadas com CT tiveram um ganho de aproximadamente 4% sendo o ganho maior de 8,5% em comparação com a viga testemunha, já comparando os resultados teóricos x práticos tivemos uma diferença média de 1,4% nas vigas CT a favor do resultado prático e 12,85% na viga testemunha, também a favor do resultado prático.

**Palavras-chave:** Concreto Têxtil. Reforço estrutural. Fibra de vidro AR. Viga com CT.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do concreto .....	18
Figura 2 - Sistema de reforço para concreto: (a) concreto armado convencional, (b) concreto reforçado com fibras dispersas e (c) concreto têxtil .....	19
Figura 3 - Exemplos de Têxtil Feitos em Vidros Álcali-Resistentes .....	21
Figura 4 - (a) Trama (b) Urdume.....	22
Figura 5 - Tensão-deformação teórica do concreto têxtil sob carregamento uniaxial.....	24
Figura 6 - Curva Não-Linear do Módulo de Elasticidade da Linha Tensão-Deformação .....	25
Figura 7 - Diferença do comportamento de concreto têxtil submetido à tração quando há adição de fibras curtas na matriz de carbono (SCF) ou de vidro (SGF) em comparação à ausência de fibras curtas. ....	26
Figura 8 - Moldagem na posição horizontal .....	27
Figura 9 - Moldagem na posição vertical .....	27
Figura 10 – Laminação.....	28
Figura 11 - Reforço em concreto têxtil com matriz cimentícia.....	29
Figura 12 - Viga reforçada com fibra de carbono, aplicação com resina epóxi.....	30
Figura 13 - Passarelas feitas com CT na Alemanha .....	31
Figura 14 - Fachada com painéis de concreto têxtil na Holanda .....	32
Figura 15 – Fachada com painéis de concreto têxtil na Alemanha.....	32
Figura 16 – a) Painel sanduíche de CT, (b) Fachada construída com painel sanduíche de CT.....	32
Figura 17 - Reforço de vigas e pilares do Estádio San Siro, na Itália .....	33
Figura 18 - Reforço de pilares no Estádio Maracanã .....	34
Figura 19 - Distribuição de tensões e deformações em viga de seção.....	35
Figura 20 - Distribuição de tensões de compressão segundo os diagramas parábola-retângulo .....	35
Figura 21 - Geometria da viga .....	42
Figura 22 - Etapas de execução dos protótipos .....	42
Figura 23 - Execução de formas .....	43
Figura 24 - Detalhamento armadura .....	44
Figura 25 - Detalhamento 3D armadura.....	44
Figura 26 - Execução corte de vergalhões.....	45
Figura 27 - Montagem de armadura .....	45

Figura 28 - Armaduras finalizadas .....	45
Figura 29 - Materiais pesados para concretagem.....	47
Figura 30 - Concreto .....	48
Figura 31 - Slump.....	49
Figura 32 - Corpos de prova.....	49
Figura 33 - Vigas concretadas .....	50
Figura 34 - Nomenclatura fibra têxtil .....	51
Figura 35 - Dimensões de trama x urdume.....	51
Figura 36 - Preparação para aplicação do têxtil.....	52
Figura 37 - Lixamento de superfície das vigas.....	53
Figura 38 - Argamassa ACIII.....	53
Figura 39 - Vigas reforçadas em concreto têxtil.....	54
Figura 40 - Ensaio e tração do aço ISO 6892-1 .....	55
Figura 41 - Corpos de prova cilíndricos.....	56
Figura 42 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos .....	57
Figura 43 - Pontos de aplicação de carga .....	57
Figura 44 - Ensaio de Stuttgart viga testemunha .....	58
Figura 45 - Ruptura viga testemunha.....	58
Figura 46 - Ensaio de Stuttgart viga 1 CT .....	59
Figura 47 - Ruptura viga 1 CT.....	59
Figura 48 - Ensaio de Stuttgart viga 2 CT .....	60
Figura 49 - Ruptura viga 2 CT.....	60
Figura 50 - Ensaio de Stuttgart viga 3 CT .....	61
Figura 51 - Ruptura viga 3 CT.....	61

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Tensão de compressão no concreto = Tensão a tração da armadura .....	36
Equação 2 - Força resultante das tensões de compressão no concreto .....	36
Equação 3 - Força resultante das tensões de tração na armadura .....	36
Equação 4 - Tensão de compressão no concreto = Tensão de tração na armadura .....	36
Equação 5 - Altura útil .....	38
Equação 6 - Momento de projeto da viga.....	38
Equação 7 - Carga de ruptura .....	39
Equação 8 - Tensão de compressão no concreto = Tensão de tração na armadura + área e resistência do têxtil .....	39
Equação 9 - Adaptação carga de ruptura.....	62

## LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tensão e deformação de têxteis impregnados.....	20
Gráfico 2 - Força de ruptura real X calculada .....	64
Gráfico 3 - Força de ruptura real CT X Testemunha.....	65
Gráfico 4 - Força de ruptura calculada CT X Testemunha.....	66

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas de diferentes tipos de fibras .....	21
Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental.....	37
Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $D_c = 10$ mm.....	38
Tabela 4 - Traço teórico .....	47
Tabela 5 - Slump .....	48
Tabela 6 - Dados de fibra têxtil .....	50
Tabela 7 - Tensão de escoamento do aço .....	55
Tabela 8 - Resistência a compressão CP's .....	56
Tabela 9 - Força de ruptura ensaio de Stuttgart.....	61
Tabela 10 - Comparação entre força de ruptura real x calculada .....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CT	Concreto Têxtil
CA	Concreto Armado
NBR	Norma Brasileira
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardization
AR	Álcali Resistente
PP	Fibras Polipropileno
PE	Fibras Polietileno
HDPE	Fibras polietileno de alta densidade
PAN	Fibra de poliacrilonitrila
Tex	Unidade de medida em g/km

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\emptyset$	Diâmetro
%	Porcentagem
$G_{pp}$	Peso próprio
$\gamma_c$	Peso específico do concreto armado
$b_w$	Largura da seção
$h$	Altura da viga
$R_c$	Tensão de compressão no concreto
$R_{st}$	Tensão à tração na armadura
$x$	Posição da linha neutra
$f_c$	Resistência de compressão do concreto
$f_{ym}$	Resistência ao escoamento do aço à tensão normal
$A_s$	Área de aço da armadura tracionada
$d$	Altura útil
$M_d$	Momento resistente de projeto
$P$	Carga de ruptura
$l$	Distância entre os apoios
$\mu m$	Micrómetro
$A'_c$	Área de concreto comprimido
$\eta_c$	Fator que considera a fragilidade do concreto

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	ÁREA DE LIMITAÇÃO DO TEMA .....	15
1.2	OBJETIVO .....	15
1.2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.3.	JUSTIFICATIVA .....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	CONCRETO ARMADO .....	17
2.2	CONCRETO TÊXTIL.....	18
2.3	TÊXTIL .....	19
2.4	FIBRAS .....	21
2.5	MATRIZ .....	23
2.6	PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	24
2.7	MÉTODO DE PRODUÇÃO .....	26
2.7.1	MOLDAGEM.....	26
2.7.2	LAMINAÇÃO .....	28
2.7.3	PULVERIZAÇÃO.....	28
2.8	APLICAÇÃO DO CONCRETO TEXTIL.....	29
2.8.1	PASSARELAS .....	30
2.8.2	PAINÉIS DE FACHADA PARA EDIFICAÇÕES .....	31
2.8.3	PAINÉIS SANDUÍCHES .....	32
2.8.4	REFORÇO ESTRUTURAL .....	33
2.9	DIMENSIONAMENTO.....	34
2.9.1	DIMENSIONAMENTO PARA CONCRETO ARMADO .....	34
2.9.2	DIMENSIONAMENTO PARA CONCRETO TÊXTIL .....	39

3	METODOLOGIA .....	41
3.1	CARACTERÍSTICAS DAS VIGAS .....	41
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS NA EXECUÇÃO DAS VIGAS .....	42
3.2.1	FORMAS .....	43
3.2.2	AÇO .....	43
3.2.3	CONCRETO.....	46
3.2.3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	46
3.2.3.2	CONCRETAGEM.....	46
3.2.4	TÊXTIL .....	50
4	RESULTADOS .....	55
4.1	ENSAIO DE TRAÇÃO .....	55
4.2	ENSAIO DE COMPRESSÃO .....	56
4.3	ENSAIO DE FLEXÃO.....	57
4.3.1	ENSAIO DE FLEXÃO A 4 PONTOS.....	57
4.4	RESULTADOS CALCULOS TEÓRICOS .....	62
5	ANÁLISES .....	64
6	CONCLUSÃO .....	67
7	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	68
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
8.	ANEXOS.....	75
8.1	ANEXOS A – ENSAIO DE TRAÇÃO.....	75
8.2	ANEXOS B – ENSAIO DE COMPRESSÃO.....	81
8.3	ANEXOS C – ENSAIO DE FLEXÃO .....	87

## 1 INTRODUÇÃO

A origem do concreto têxtil (CT) está associada à busca de novas soluções para o reforço de estruturas de concreto armado (CA). Apesar de sua alta resistência à compressão, o concreto armado é relativamente frágil sob cargas de tração, o que limita sua aplicação em muitos contextos.

A ideia de usar fibras têxteis para reforçar o concreto não é nova, tendo sido proposta pela primeira vez na década de 1960. No entanto, na época, as fibras têxteis disponíveis eram relativamente fracas e sua capacidade de aderir ao concreto era baixa, limitando sua eficácia de reforço.

Foi somente na década de 1990 que as fibras têxteis começaram a ser utilizadas em larga escala na engenharia civil, graças ao desenvolvimento de novas fibras de alta resistência, como o carbono e o vidro. Essas fibras podem suportar cargas muito altas e possuem excelente aderência ao concreto, permitindo a criação de tecidos de fibras capazes de reforçar efetivamente estruturas de concreto armado.

O desenvolvimento do concreto têxtil é resultado de uma série de avanços tecnológicos em diversas áreas, como engenharia de materiais, química e física. A criação de novas fibras de alta resistência, como fibra de carbono e fibra de vidro, é um dos principais impulsionadores do desenvolvimento dessa tecnologia.

Outro fator importante que contribuiu para o desenvolvimento do concreto armado foi à introdução de técnicas de fabricação têxtil. Esses tecidos podem ser produzidos em larga escala em uma variedade de formas e características, permitindo que sejam adaptados a diferentes aplicações estruturais. Além disso, sua versatilidade permite que sejam moldados em formas complexas, facilitando sua implantação em estruturas existentes.

A utilização de concreto têxtil para reforço de vigas de concreto armado é uma das aplicações mais promissoras dessa tecnologia. Em muitos casos, as vigas de concreto armado podem apresentar fissuras ou trincas por sobrecarga ou envelhecimento, reduzindo sua resistência e estabilidade. Nesse contexto, o reforço com concreto têxtil pode ser uma solução eficaz e econômica para aumentar a capacidade de carga das vigas.

O processo de reforço do concreto têxtil envolve a colagem de uma ou mais camadas de tecido de fibra na parte inferior da viga. O tecido é então saturado com argamassa de cimento,

que adere firmemente ao concreto existente e aumenta sua capacidade de carga. Este processo pode ser repetido várias vezes para aumentar gradualmente a resistência.

Assim, o concreto têxtil é uma tecnologia promissora na indústria da construção civil, que reforça estruturas de concreto de forma eficaz e econômica. Sua capacidade de suportar altas cargas e se adaptar a diferentes geometrias e configurações o torna uma escolha atraente para engenheiros e construtores em todo o mundo.

## **1.1 ÁREA DE LIMITAÇÃO DO TEMA**

O presente trabalho se desenvolve no campo de análise estrutural de vigas de concreto armado, com o objetivo de apresentar a aplicação de fibras no formato têxtil para reforço dessas estruturas.

## **1.2 OBJETIVO**

O presente trabalho terá sua divisão de objetivos em objetivo geral e objetivos específicos descritos a seguir.

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar estudo de reforço estrutural com aplicação de concreto têxtil em vigas, visando abordar seu comportamento estrutural.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar uma revisão bibliográfica a aplicabilidade do concreto têxtil;
- Dimensionar e confeccionar uma viga testemunho de concreto armado e 3 vigas com reforçadas com concreto têxtil;
- Após período de cura submete-las a um ensaio de flexão até a ruptura;
- Analisar os resultados obtidos, comparando o modelo teórico com resultado prático, assim como o ganho de resistência acarretado pelo reforço;

### 1.3. JUSTIFICATIVA

A utilização de materiais têxteis como reforço em estruturas de concreto tem sido objeto de estudo em diversos trabalhos acadêmicos nos últimos anos. Essa técnica de reforço estrutural tem como principal objetivo melhorar a capacidade de suporte de estruturas de concreto existentes, que podem apresentar deficiências ou danos ao longo do tempo, ou mesmo para permitir a construção de estruturas mais leves e eficientes.

Dentre os materiais têxteis utilizados para reforço de estruturas de concreto, o concreto têxtil tem ganhado destaque devido às suas características mecânicas e de durabilidade. O uso de concreto têxtil no reforço de vigas pode trazer benefícios como aumento da capacidade de carga, redução da fissuração e aumento da resistência ao fogo.

Considerando o crescente interesse na utilização de materiais têxteis como reforço em estruturas de concreto e a relevância da técnica de concreto têxtil no reforço de vigas, este trabalho propõe-se a investigar a eficácia e a aplicabilidade do concreto têxtil no reforço de vigas de concreto armado. Serão realizados ensaios experimentais para avaliar o desempenho de vigas de concreto armado reforçadas com concreto têxtil, comparando com vigas não reforçadas, além disso parâmetros como capacidade de carga e desempenho estrutural também serão avaliados. A partir desses resultados, serão propostas recomendações para a aplicação de fibras têxteis como método de reforço.

Dessa forma, espera-se contribuir para o avanço do conhecimento sobre a técnica de reforço com concreto têxtil em vigas de concreto armado, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de projetos mais eficientes e sustentáveis na construção civil.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CONCRETO ARMADO**

O concreto é um material utilizado na construção civil composto por agregados graúdos (pedras britadas, seixos rolados), agregados miúdos (areia natural ou artificial), aglomerantes (cimento), água, adições minerais e aditivos. (PORTO e FERNANDES, 2015, p. 25).

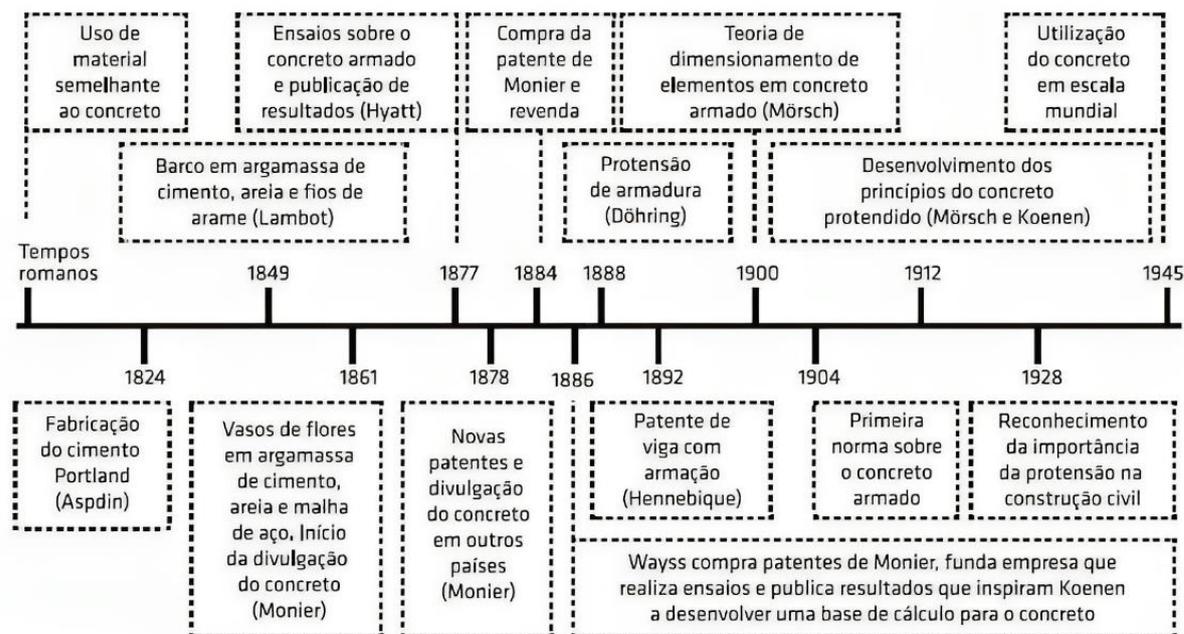
Devido ao fato de o concreto apresentar boa resistência à compressão, mas não à tração, a utilização do concreto simples se mostra muito limitada. Quando se faz necessária a resistência aos esforços de compressão e tração, associa-se o concreto a materiais que apresentem alta resistência à tração, resultando no concreto armado (concreto e armadura passiva) ou protendido (concreto e armadura ativa). (PORTO e FERNANDES, 2015, p. 25).

Entre as vantagens do concreto armado, estão: economia, facilidade de execução e adaptação a qualquer tipo de forma (o que proporciona liberdade arquitetônica), excelente solução para se obter uma estrutura monolítica e hiperestática (maiores reservas de segurança), resistência a efeitos atmosféricos, térmicos e ainda a desgastes mecânicos, manutenção e conservação praticamente nulas e grande durabilidade. (PORTO e FERNANDES, 2015, p. 25).

Como desvantagens, tem-se: peso próprio elevado (da ordem de 25 kN/m<sup>3</sup>), baixo grau de proteção térmica e isolamento acústico e fissuração da região tracionada, podendo esta, no entanto, ser controlada por meio da utilização de armadura de tração. (PORTO e FERNANDES, 2015, p. 25).

É apresentado na figura 1 a evolução do concreto durante a história, até sua popularização mundial em torno de 1945.

Figura 1 - Evolução do concreto



Fonte: PORTO e FERNANDES, (2015).

## 2.2 CONCRETO TÊXTIL

Por volta do ano de 2000, duas universidades alemãs, a Universidade de Aachen e a Universidade de Tecnologia de Dresch, iniciaram estudos para reforçar o concreto com fibras curtas, utilizando os princípios estruturais do concreto armado convencional. Sendo assim, desenvolveram um novo compósito chamado de concreto têxtil (HEGGER, 2006 apud DENARDI, 2016, p.28).

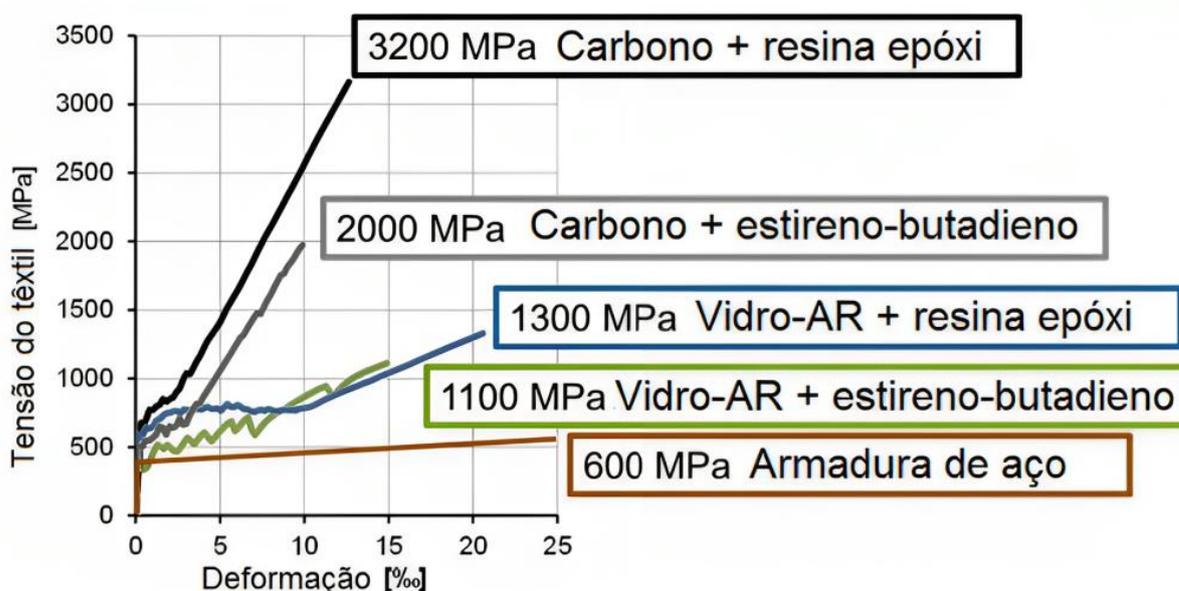
O concreto têxtil combina cimento, água, agregados e fibras têxteis para criar uma matriz resistente à tração. As fibras têxteis são geralmente feitas de vidro, carbono ou polímero e são incorporadas na mistura de concreto para fornecer resistência à tração, enquanto o cimento e os agregados fornecem resistência à compressão. O resultado é um material que combina a resistência e a durabilidade do concreto com a capacidade de se deformar e resistir à ruptura.



ao impacto, e ainda não existem tantos estudos que utilizam este material para o CT (NORA, 2018 apud GRIES et al, 2006).

Para que os têxteis funcionem de forma eficiente eles devem ser impregnados. A resina epóxi ou borracha de estireno-butadieno provaram aumentar a qualidade do têxtil. Estes materiais são bem mais finos que o concreto e desta forma conseguem impregnar todo o material (KULAS, 2015).

Gráfico 1 - Tensão e deformação de têxteis impregnados

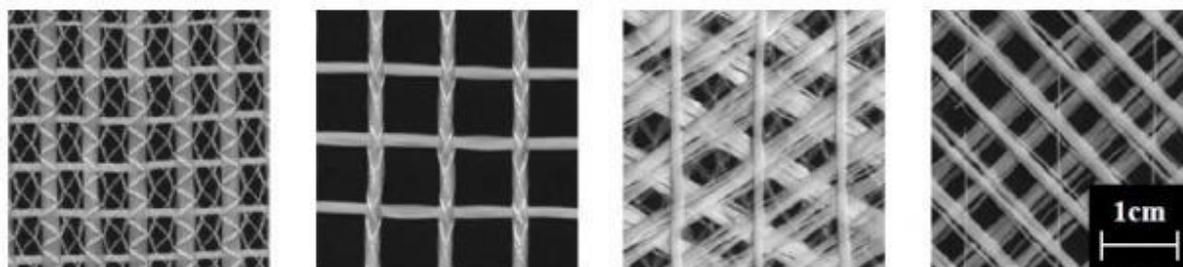


Fonte: Kulas (2015. p.4, tradução livre)

As fibras que compõem os filamentos normalmente são classificadas por hora como alto ou baixo módulo em relação ao módulo de elasticidade do concreto. As fibras de baixo módulo seriam as fibras de polipropileno (PP), polietileno (PE) e Nylon (NAAMAN, 2010). As de alto módulo são as fibras de aramida, vidro álcali-resistente, fibras polietileno de alta densidade (HDPE) e as fibras de carbono (PELED; BENTUR, 2000).

Dependendo da forma como os têxteis são fabricados, podem possuir diversas configurações. Os mais usuais são o biaxial e multiaxial, uma vez que assim oferecem uma enorme flexibilidade de propriedades e são adequados para diversas aplicações (GRIES, 2006).

Figura 3 - Exemplos de Têxtil Feitos em Vidros Álcali-Resistentes



Fonte: ORTLEPP (2007, p. 30, tradução livre).

## 2.4 FIBRAS

Conforme Gries, Offermann, Peled (2006) as propriedades, a quantidade e a disposição dos materiais fibrosos têm grande influência na composição do concreto reforçado com têxtil para que o sistema seja eficiente e não ocorram patologias.

Alguns requisitos da fibra devem ser cumpridos para o bom desempenho do compósito, como por exemplo, para que a estrutura mantenha a rigidez quando ocorre o processo de fissuração; o módulo de elasticidade deve ser maior do que o da matriz do concreto. Deve também possuir aderência com a matriz de concreto, ser resistente ao meio alcalino, ter baixo custo e um processo de fabricação simplificado (SILVA, 2020).

Tabela 1 - Propriedades mecânicas de diferentes tipos de fibras

<b>Tipo de fibra</b>	<b>Resistência à tração (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b>	<b>Deformação última (%)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Vidro (AR)	2500	70	3,6	2,78
Carbono	3500 - 6000	230 - 600	1,5 - 2,0	1,60 - 1,95
Aramida	3000	60 - 130	2,1 - 4,0	1,4
Polietileno	250	1,4 - 2,2	10 - 15	0,95
Polipropileno	140 - 690	3 - 5	25	0,90 - 0,95
PVA	880 - 1900	25 - 41	6 - 10	1,3
Basalto	3000 - 4840	79,3 - 93,1	3,1	2,7
Sisal	600 - 700	38	2 - 3	1,33
Metálica	1200	200	3 - 4	7,85

Fonte: Peled, Bentur e Mobasher (2017), apud Ott (2018).

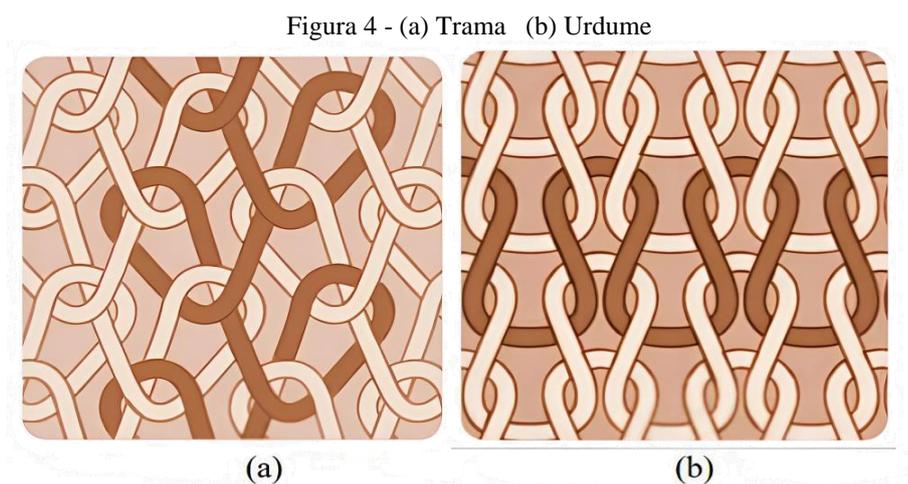
Dentre os diversos tipos de fibras apresentados na Tabela 1, os principais são as fibras de vidro AR, carbono e aramida. Destaca-se as seguintes propriedades e características de cada uma delas:

Fibras de Vidro AR (álcali resistente): possui a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) como ingrediente principal e 15% zircônio incorporado em sua massa. Sua alta resistência específica é uma das principais vantagens da utilização, é uma das mais empregadas para reforço do CT pois possui uma boa aderência com matrizes a base de cimento, tem custo acessível, proporcionando uma boa relação custo/benefício (SERRA, 2018).

Fibras de Carbono: o material principal para sua fabricação é a fibra de poliácridonitrila (PAN). Não possui uma alta aderência ao material cimentício, porém os filamentos de carbono possuem uma elevada resistência a solventes ácidos, alcalinos e orgânicos, resistência às vibrações, boa condutividade elétrica, altíssimos valores de resistência à tração, módulo de elasticidade e tenacidade, no entanto apresentam um custo elevado (LEUCK, 2018).

Fibras de Aramida: poucos são os estudos referentes às fibras de aramida no campo da engenharia estrutural. Essas fibras são confeccionadas por policondensação de dicloranidridos, de ácidos aromático de dicarbono, com diaminas aromáticas. Possuem uma excelente resistência à tração e módulo de elasticidade, porém apresenta desvantagens como uma baixa resistência a soluções alcalinas e a expansão quando sofre ações de calor, provocando tensões na interface com a matriz cimentícia (SERRA, 2018).

Os fios podem ser traçados de duas formas, na direção longitudinal e na transversal, denominados respectivamente de urdume e trama. A figura 3 a seguir trata-se de uma ilustração de trama e urdume citados acima.



Fonte: disponível em: <http://adina.com.br>, apud Dalazen (2021).

Os fios da trama são colocados na direção de tensão principal do composto, o que é mais eficiente do que usar fibras curtas aleatoriamente; os fios de urdume não suporta a mesma força de tensão, mas proporciona estabilidade ao têxtil (DENARDI, 2016).

## 2.5 MATRIZ

As matrizes utilizadas no CT possuem requisitos especiais acerca da produção, das propriedades mecânicas e da durabilidade. Essa situação corrobora para a alta qualidade do CT e sua aplicação nas construções. Destacam-se quatro importantes itens do projeto de uma matriz de CT: consistência adequada para a penetração total da matriz nos espaços entre fios do têxtil; processo de produção utilizado; compatibilidade química com o têxtil; propriedade mecânicas requeridas do elemento de CT (Dalazen, 2021 apud BRAMESHUBER et al., 2006).

Em função da dimensão máxima dos agregados ser inferior a 2 mm, a matriz pode ser considerada uma argamassa. Assim, as matrizes de concreto têxtil também podem ser chamadas de concreto de grãos finos. (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2006). A reologia do composto é essencial para garantir penetração total da matriz nas aberturas dos tecidos, promovendo boa adesão e capacidade de carga eficiente. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

Em relação aos requisitos de durabilidade, tantos os aspectos de vida útil do reforço quanto as propriedades mecânicas da matriz, como resistência à flexão e aderência têxtil-matriz, podem ser melhoradas com a adição de materiais poliméricos, como aditivos superplastificantes, e aditivos minerais, principalmente pozolânicos, como cinza volante, sílica ativa e meta-caulinita (PELED et al., 2017; KOUTAS et al., 2019).

Além da presença do têxtil no compósito, podem ser adicionadas fibras curtas na matriz cimentícia para aprimorar algumas características do compósito. Isso também melhora a capacidade de suporte do compósito e faz com que o início da fissuração ocorra com uma resistência mais alta.(GIESE, 2019). As fibras tornam o compósito mais dúctil e otimizam a abertura e o processo de fissuração, o que garante maior durabilidade e melhores condições de serviço (PELED, BENTUR e MOBASHER, 2017, p. 177).

De modo geral, o concreto têxtil é produzido com cimentos de alta resistência inicial e baixa relação água/cimento. A fluidez da mistura pode ser obtida com a adição de aditivos (BRESOVIT, 2021). No estado fresco, a matriz cimentícia deve apresentar consistência plástica, boa trabalhabilidade e baixa viscosidade, características essenciais para o completo envolvimento do reforço. No estado endurecido, a matriz deve ter compatibilidade química e boa

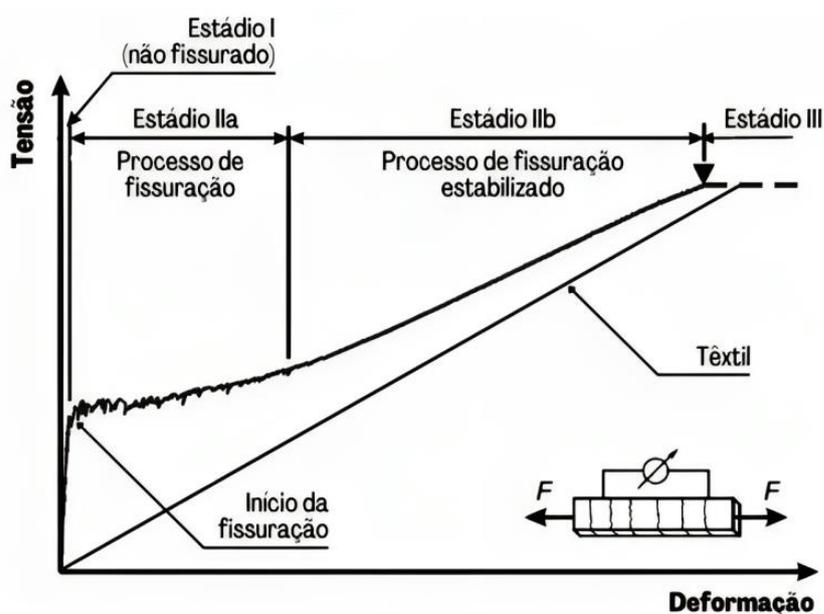
aderência ao têxtil. Neste sentido, a estabilidade química do têxtil no interior da matriz é essencial (BRAMESHUBER et al., 2006).

## 2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas do concreto têxtil dependem não apenas das características dos seus elementos isolados, matriz e têxtil, mas também da aderência entre eles. Uma vez que os fios são formados por diversos filamentos, também deve ser levado em consideração como se dá a aderência entre a matriz e os filamentos mais internos e entre os próprios filamentos (HEGGER et al., 2006, p. 134).

Na Figura 5 é apresentado um gráfico da relação teórica de tensão x deformação de elementos de CT. No estágio I o CT não apresenta fissuras, no estágio II a solicitação ultrapassa a resistência à tração da matriz cimentícia, assim formando as primeiras fissuras então a solicitação começa a ser resistida pelo têxtil, no estágio IIb é onde ocorre a total fissuração do elemento, formando uma região quase que linear até chegas no estágio III onde ocorre a ruptura.

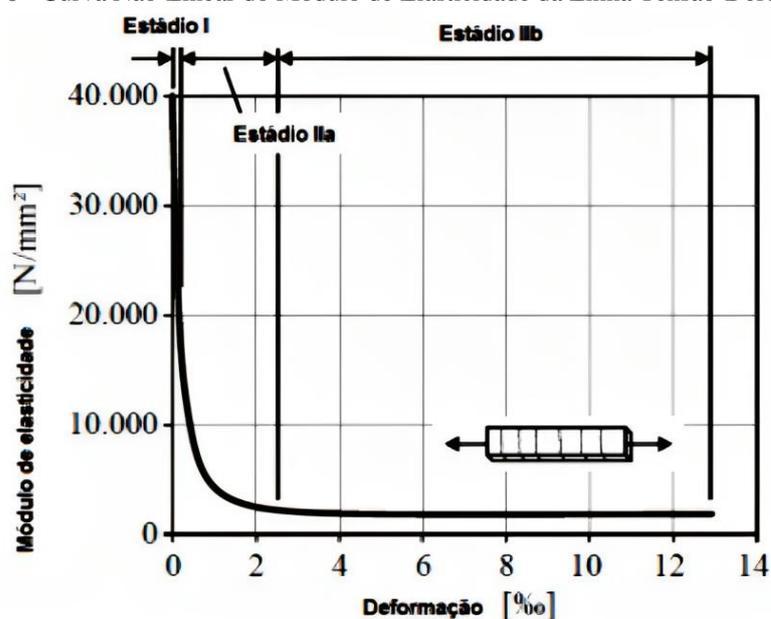
Figura 5 - Tensão-deformação teórica do concreto têxtil sob carregamento uniaxial



Fonte: Adaptado de HEGGER et al., 2006, p. 135

O módulo de elasticidade do CT varia conforme a sua deformação, por apresentar comportamento não-linear, tornando a fórmula de relação tensão x deformação uma função da deformação  $\sigma = E(\epsilon) \cdot \epsilon$ . (Ali, 2021) Apresentado na Figura 6.

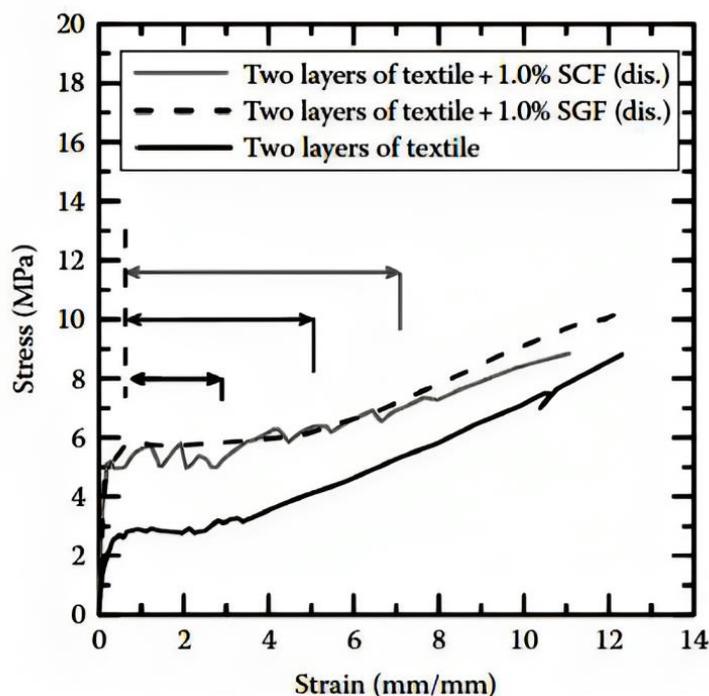
Figura 6 - Curva Não-Linear do Módulo de Elasticidade da Linha Tensão-Deformação



Fonte: JESSE, APUD ORTLEPP (2007, p.34, tradução livre)

Se houver adição de fibras no CT suas fissuras diminuem. Peled, Bentur e Mobasher (2017, p. 182) afirmam que a melhora devido à adição de fibras curtas pode ser explicada por vários mecanismos. Primeiramente, a adição de fibras evita defeitos internos uma vez que atuam no controle da retração. Elas também atuam como pontes das microfissuras, o que contribui para conter a fissuração. Acredita-se que as fibras curtas possam influenciar a aderência dos filamentos à matriz, formando ligações adesivas especiais. Por último, tem-se que a própria presença dessas fibras aumenta o grau de reforço (Giese, 2019). Na Figura 7 é apresentado um gráfico teórico comparativo da adição de fibras curtas.

Figura 7 - Diferença do comportamento de concreto têxtil submetido à tração quando há adição de fibras curtas na matriz de carbono (SCF) ou de vidro (SGF) em comparação à ausência de fibras curtas.



Fonte: adaptado GIESE, 2019, apud PELED, BENTUR e MOBASHER, 2017, p. 179

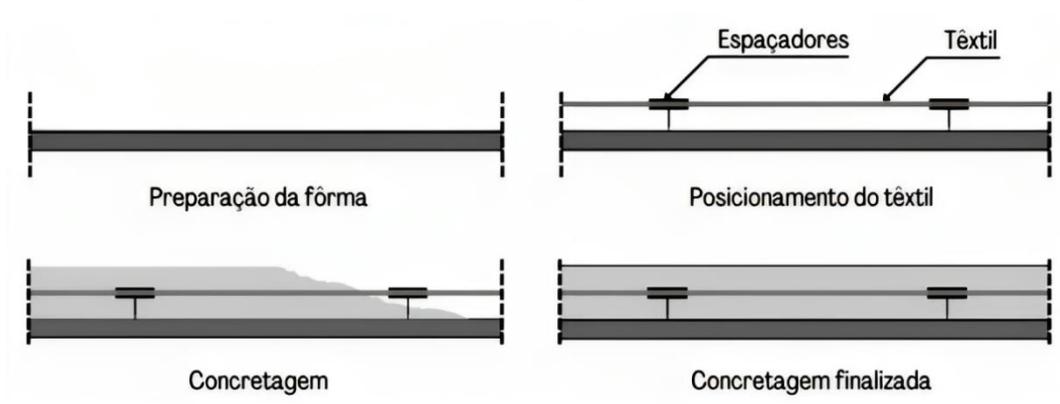
## 2.7 MÉTODO DE PRODUÇÃO

De acordo com Brameshuber (2016), as técnicas mais utilizadas são moldagem, laminação e pulverização.

### 2.7.1 MOLDAGEM

Na moldagem, ou casting, o reforço têxtil pode estar fixo na fôrma ou ser inserido de forma livre durante a concretagem. Para facilitar o lançamento e a penetrabilidade entre as camadas têxteis, o concreto de granulometria fina deve apresentar consistência fluida e ser lançado em uma única etapa. Podem ser empregados têxteis bidimensionais, combinados com espaçadores, ou têxteis tridimensionais. O processo de moldagem está ilustrado na Figura 8 (Oestreich 2022, apud BRAMESHUBER, 2016).

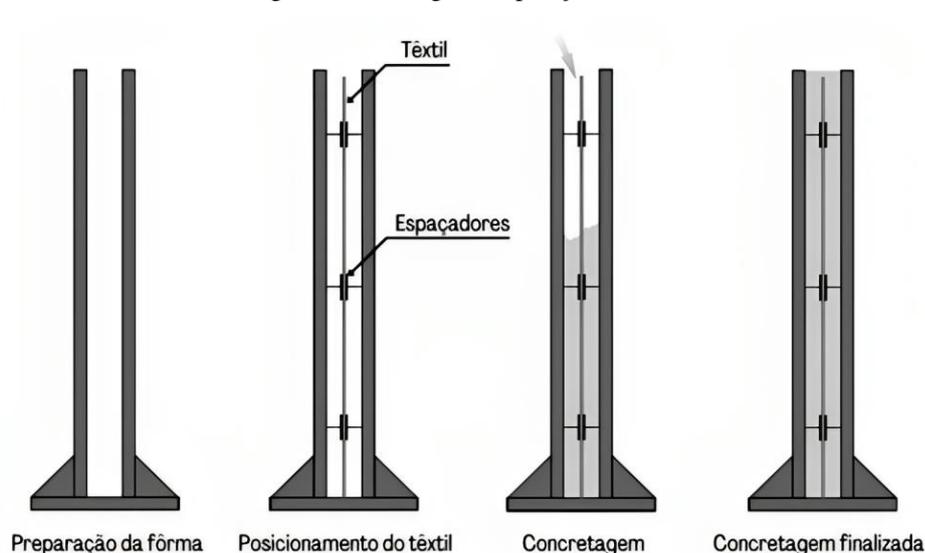
Figura 8 - Moldagem na posição horizontal



(Fonte: Adaptado de KULAS, 2015)

Brameshuber (2016) destaca que a técnica de moldagem apresenta algumas limitações quanto à disposição do reforço. Quanto à disposição horizontal, se a configuração da armadura têxtil for muito densa, ou seja, com camadas de reforço muito próximas, o concreto pode não conseguir penetrar, mesmo se uma alta energia de compactação for aplicada. Quanto à produção na posição vertical, se o reforço não apresentar rigidez suficiente, não é possível assegurar que o têxtil permaneça estável durante a concretagem, devido à pressão exercida pelo concreto. O processo de produção vertical por moldagem está ilustrado na Figura 9. (Oestreich, 2022)

Figura 9 - Moldagem na posição vertical

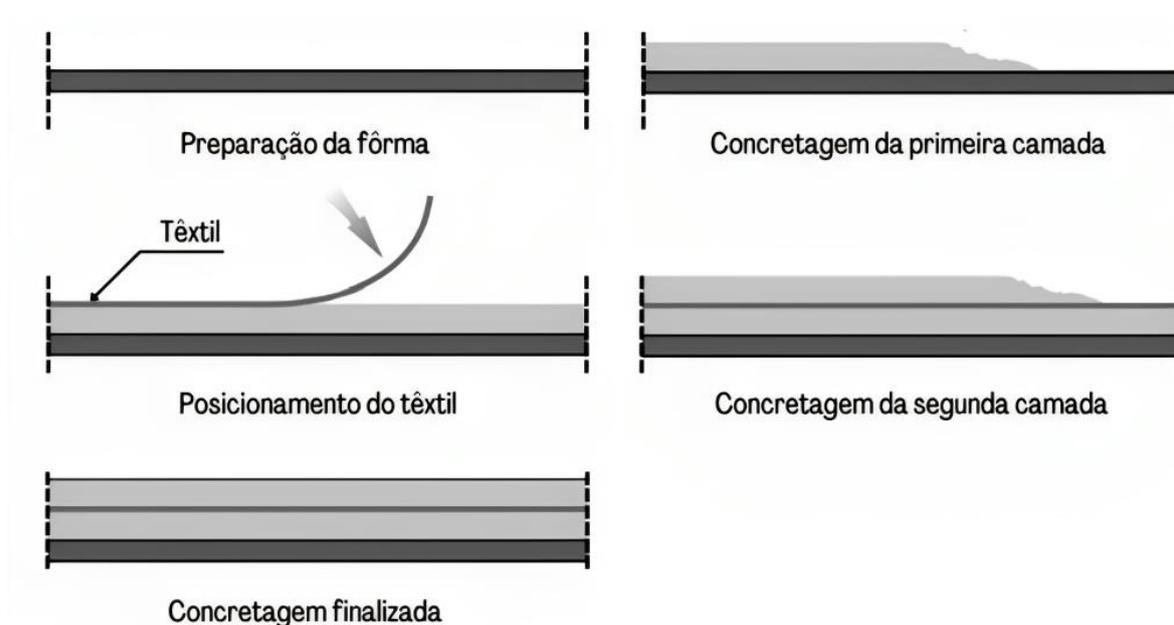


Fonte: Adaptado de KULAS, 2015

## 2.7.2 LAMINAÇÃO

Na técnica de laminação, ou *laminating*, o têxtil e o concreto de granulometria fina são inseridos em camadas de forma alternada, até que a espessura prevista em projeto seja alcançada (SCHEERER et al., 2015). Neste processo, as etapas de produção compreendem o lançamento do concreto, a compactação da camada com uso de rolo e a disposição manual do têxtil, conforme pode ser visto na Figura 10. Quanto à geometria do reforço, verifica-se que esta técnica é adequada para têxteis bidimensionais e planos (Oestreich 2022, apud BRAMESHUBER, 2016).

Figura 10 – Laminação



Fonte: Adaptado de KULAS, 2015

Em relação à moldagem, a matriz do método de laminação pode apresentar consistência fluida ou rígida. No entanto, com alta fluidez, o concreto pode ser facilmente distribuído na fôrma, de modo que os fios têxteis sejam totalmente envolvidos pela matriz. Neste sentido, verifica-se que o uso de rolo contribui para a penetrabilidade do concreto no têxtil, fator que melhora a aderência têxtil-matriz no estado endurecido (Oestreich 2022, apud BRAMESHUBER, 2016).

## 2.7.3 PULVERIZAÇÃO

A técnica de pulverização, também chamada de projeção ou *spraying/shotcreting*, consiste no lançamento do concreto por meio de equipamentos de baixa pressão (de até 8 bar), semelhantes àqueles empregados na projeção de gesso. Assim como na laminação, o processo

de pulverização consiste na produção do concreto têxtil em camadas e com auxílio de rolo. Os requisitos de geometria do reforço também são os mesmos: têxteis bidimensionais e planos (Oestreich 2022, apud BRAMESHUBER, 2016).

Quanto à consistência da matriz de cimento, a técnica de pulverização requer uma mistura bombeável e pulverizável. Geralmente, quando utilizada para a concretagem de superfícies verticais, a composição do concreto de granulometria fina deve apresentar maior viscosidade e aderência. Para a produção de elementos horizontais, o método pode ser aplicado como alternativa aos métodos de moldagem e laminação. A vantagem da pulverização é a velocidade de produção, uma vez que vários metros quadrados podem ser concretados em pouco tempo (Oestreich 2022, apud BRAMESHUBER, 2016).

## 2.8 APLICAÇÃO DO CONCRETO TEXTIL

O reforço realizado com concreto têxtil é uma técnica que pode ser comparada com o uso de tecidos contínuos feitos de fibra de carbono, aramida ou vidro, que são aderidos ao substrato através da aplicação de uma resina. No entanto, muitas das desvantagens que são observadas com o uso da resina como agente adesivo podem ser solucionadas com a alteração da técnica de aplicação do tecido, resultando em têxteis que utilizam uma matriz cimentícia ao invés da resina. (Giese, 2019, apud LARRINAGA et al., 2010, p. 236)

Figura 11 - Reforço em concreto têxtil com matriz cimentícia



Fonte: (GRIES, 2006)

Figura 12 - Viga reforçada com fibra de carbono, aplicação com resina epóxi



Fonte: <<http://techniques.com.br/wp-content/uploads/2013/07/60.jpg>>. Acesso em 04/05/2023.

Pode-se destacar algumas vantagens como maior proteção ao fogo, facilidade de instalação, baixo custo da matriz, compatibilidade com superfícies úmidas, permeabilidade ao vapor e ausência de liberação de compostos perigosos (LARRINAGA et al., 2010, p. 236)

Larrinaga et al. (2010, p. 236), destacam propriedades do concreto têxtil que o fazem ser recomendável para emprego como reforço em estruturas mais antigas, onde a resistência do concreto é usualmente mais baixa. Uma característica da matriz cimentícia é ter baixa resistência à tração, o oposto do têxtil que possui uma tensão última de tração elevada. (GRIES, 2006)

Apesar de ser um material de construção novo, já foi utilizado em diferentes projetos, como o caso de passarelas, painéis de fachada para edificações, painéis sanduíches e reparos e reforços estruturais. (PETRE; ZAPALOWICZ, 2012).

### **2.8.1 PASSARELAS**

Com CT é possível projetar componentes de uma seção transversal fina para substituir o concreto reforçado convencional mais pesado, como perfis para pontes. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

A cidade de Oschatz, na Alemanha, foi pioneira na construção da primeira passarela em concreto têxtil em 2006. A estrutura tinha um vão livre de 8,6 metros. Posteriormente, em 2010,

outra passarela foi construída em Albstadt, também na Alemanha, com 97 metros de comprimento. Como podemos observar na figura x. (RAUPACH; CRUZ, 2016).

Figura 13 - Passarelas feitas com CT na Alemanha



(a) Albstadt

(b) Oschatz

Fonte: Baunetz Wissen (2018).

## 2.8.2 PAINÉIS DE FACHADA PARA EDIFICAÇÕES

Conforme observado por Shams, Hegger e Hortsmann (2014), uma das aplicações mais relevantes do concreto têxtil é na construção de fachadas leves, já que o material possui baixa espessura e pode ser utilizado na produção de placas finas.

Kulas et al. (2011) descrevem um exemplo de aplicação da tecnologia do concreto têxtil na edificação da Community College Leiden, localizada na Holanda (Figura 14). Além disso, a tecnologia foi utilizada em painéis similares em uma construção na Alemanha, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 14 - Fachada com painéis de concreto têxtil na Holanda



Fonte: Kulas et al. (2011, p.274).

Figura 15 – Fachada com painéis de concreto têxtil na Alemanha



Fonte: Baunetz Wissen (2018).

### 2.8.3 PAINÉIS SANDUÍCHES

Žák, Štemberk e Vodička (2017), informam que o uso do material tem destaque em painéis sanduíche, em elementos portantes. O uso de concreto reforçado com têxtil possibilita a produção de fachadas de concreto muito mais finas e que não alteraram as suas propriedades mecânicas com o tempo, pois não há corrosão da armadura. (Ott, 2018)

Os painéis de fachada são formados por duas placas de CT com um núcleo, que pode ser preenchido com poliestireno expandido (EPS) ou poliuretano (PU). (Ott, 2018). As placas servem para dar resistência, dureza e suportar as cargas atuantes no elemento, enquanto o núcleo atua como isolante térmico. (MOBASHER et al., 2011; RAUPACH; CRUZ, 2016; PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017). Apresenta-se na Figura 16 um painel sanduíche e uma fachada montada com este sistema.

Figura 16 – a) Painel sanduíche de CT, (b) Fachada construída com painel sanduíche de CT



(a)



(b)

Fonte: Hering Architectural Concrete (2018).

## 2.8.4 REFORÇO ESTRUTURAL

Uma das principais e mais importantes aplicações do CT é o reforço em elementos estruturais como por exemplo vigas e pilares, tanto novos como existentes.

O CT pode ser incorporado em uma estrutura como uma camada externa para fornecer resistência e maior durabilidade, tanto para aplicações em novas estruturas, bem como reparo e *retrofit* de estruturas existentes. A prática atual de reparo e *retrofit* com CT é baseada na cola-gem ou envolvimento do elemento com o têxtil e impregnação com polímero usando tecnologia de colocação manual. Os mecanismos de fortalecimento podem estar relacionados ao cisalhamento, ao comportamento de tensão / flexão e à compressão. (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017, PETRE; ZAPALOWICZ, 2012).

Segundo Petre e Zapalowicz (2012), devido à alta resistência à tração na flexão, o CT pode ser aplicado com eficácia no reforço de elementos estruturais em flexão, como lajes e vigas. A aplicação de várias camadas de CT na parte inferior do elemento reforçado resulta em um significativo aumento da capacidade de carga flexural.

Figura 17 - Reforço de vigas e pilares do Estádio San Siro, na Itália



A utilização de reforço estrutural com CT mais famosa no Brasil ocorreu no Estádio Maracanã, no Rio de Janeiro. Devido às cargas da nova cobertura do estádio, em cada pilar foram ancoradas duas camadas de tecido de fibra de carbono, recebendo 10 mm de concreto projetado. Diante do curto prazo para a entrega do estádio para a competição, as arquibancadas receberam reforço têxtil, e não metálico, como previsto em projeto. A projeção inicial era de que 32 pessoas realizassem o serviço em 75 dias. Com a mudança para o reforço têxtil, apenas dois trabalhadores finalizaram o serviço em 22 dias (LEUCK,2018 apud BOURNAS, 2016), evidenciando a possível otimização do processo e dos prazos.

Figura 18 - Reforço de pilares no Estádio Maracanã



Fonte: Bournas (2016, p. 401).

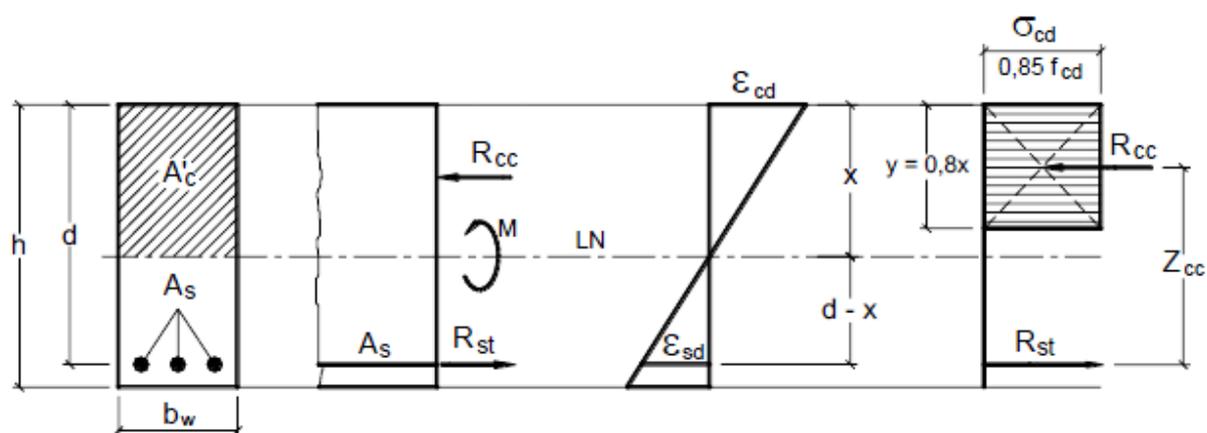
## 2.9 DIMENSIONAMENTO

### 2.9.1 DIMENSIONAMENTO PARA CONCRETO ARMADO

A Figura 19 mostra a seção transversal de uma viga sob Flexão Simples, de forma retangular e solicitada por momento fletor positivo, com largura  $b_w$  e altura  $h$ , armadura  $A_s$  e

área  $A'_c$  de concreto comprimido, delimitada pela linha neutra. A linha neutra é demarcada pela distância  $x$ , contada a partir da fibra mais comprimida da seção transversal. A altura útil é  $d$ , considerada da fibra mais comprimida até o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada. (Bastos, 2020)

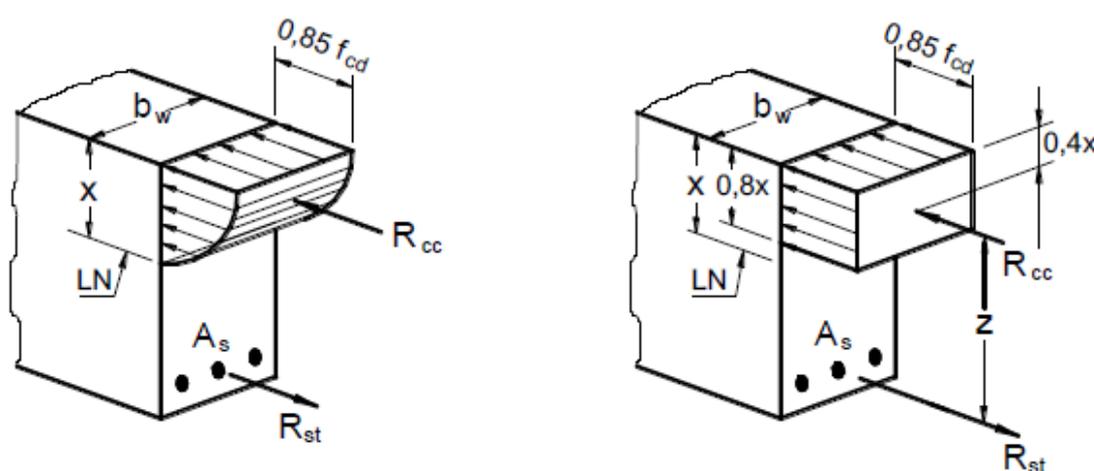
Figura 19 - Distribuição de tensões e deformações em viga de seção



Fonte: Bastos, 2020

A fim de exemplificar de maneira mais clara a distribuição das tensões de compressão na seção, a Figura 20 apresenta uma representação em perspectiva da seção transversal, juntamente com diagramas parábola retângulo e retangular simplificado. O cálculo subsequente será baseado no diagrama retangular simplificado, o qual resulta em equações mais simples e resultados bastante próximos aos obtidos com o diagrama parábola-retângulo.

Figura 20 - Distribuição de tensões de compressão segundo os diagramas parábola-retângulo



Fonte: Bastos, 2020

Segundo Bastos, considerando que na Flexão Simples não ocorrem forças normais sollicitantes, e que a força resultante das tensões de compressão no concreto deve estar em equilíbrio com a força resultante das tensões de tração na armadura  $A_s$ , como indicadas na Figura 19, pode-se escrever:

Equação 1 - Tensão de compressão no concreto = Tensão a tração da armadura

$$R_c = R_{st} \quad (1)$$

$R_c$  = tensão de compressão no concreto

$R_{st}$  = tensão a tração na armadura

Ao considerar a área de concreto comprimido ( $A'_c$ ) que corresponde ao diagrama retangular simplificado com uma altura de  $0,8x$ , temos o seguinte resultado:

Equação 2 - Força resultante das tensões de compressão no concreto

$$R_c = 0,8 * b_w * x * f_{cm} * \eta_c \quad (2)$$

Onde:

$R_c$  = tensão de compressão no concreto

$b_w$  = largura da seção;

$x$  = posição da linha neutra;

$f_{cm}$  = resistência de cálculo do concreto à compressão;

$\eta_c$  = fator que considera a fragilidade do concreto

Equação 3 - Força resultante das tensões de tração na armadura

$$R_{st} = A_s * f_{ym} \quad (3)$$

$R_{st}$  = tensão a tração na armadura

$f_{ym}$  = resistência ao escoamento do aço à tensão normal

$A_s$  = área de aço da armadura tracionada.

Igualando a tensão de compressão no concreto com a tensão de tração na armadura temos:

Equação 4 - Tensão de compressão no concreto = Tensão de tração na armadura

$$0,8 * b_w * x * f_{cm} * \eta_c = A_s * f_{ym} \quad (4)$$

Agora, isolando o  $x$  e encontrando a linha neutra da viga.

Também é necessário determinar a altura útil ( $d$ ), um fator importante é o cobrimento utilizado na viga, que deve-se levar em consideração a classe de agressividade Tabela 6.1 da NBR 6118:2023.

Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	
<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura). <sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove. <sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Fonte: NBR 6118:2023.

Com a classe de agressividade ambiental determinada definisse o cobrimento pela tabela 7.2 da NBR 6118:2023.

Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para  $D_c = 10$  mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: NBR 6118:2023.

Equação 5 - Altura útil

$$d = h - \left( \text{Cobrimento} + \phi_{\text{estribo}} + (0,5 * \phi_{\text{armadura longitudinal}}) \right) \quad (5)$$

Onde:

$d$  = Altura útil

$h$  = Altura da viga

$\phi_{\text{estribo}}$  = Diâmetro do estribo

$\phi_{\text{armadura longitudinal}}$  = Diâmetro da armadura longitudinal

Cobrimento conforme NBR 6118:2023

O momento necessário de projeto da viga tem se com a seguinte equação:

Equação 6 - Momento de projeto da viga

$$M_d = 0,8 * f_{cm} * x * b_w * (d - 0,4 * x) \quad (6)$$

Onde:

$M_d$  = Momento resistente de projeto

$f_{cm}$  = resistência de cálculo do concreto à compressão;

$x$  = posição da linha neutra;

$b_w$  = largura da seção;

$d$  = Altura útil

Com o momento resistente de projeto podemos aplicar na Equação 7 achando a carga de ruptura, a fim de romper a viga.

Equação 7 - Carga de ruptura

$$\frac{\frac{P}{2}}{\frac{M_d}{\frac{1}{3}}} \quad (7)$$

Onde:

$P$  = Carga de ruptura

$M_d$  = Momento resistente de projeto

$l$  = Distância entre os apoios

## 2.9.2 DIMENSIONAMENTO PARA CONCRETO TÊXTIL

Para as vigas de concreto têxtil, o seu reforço é calculado semelhante as não reforçadas, seguindo mesmos métodos, porém com a adição de dois novos elementos no cálculo, a área de fibra em  $\text{cm}^2$  e a resistência da fibra em  $\text{kN/cm}^2$ .

Igualando  $R_{cc}$  a o  $R_{st}$  mais o valor de  $A_{fc}$  e  $f_{fc}$ , somando-o com  $R_{st}$  encontrando o valor da linha neutra ( $x$ ).

Equação 8 - Tensão de compressão no concreto = Tensão de tração na armadura + área e resistência do têxtil

$$0,8 * b_w * x * f_{cm} * \eta_c = A_s * f_{ym} + A_{fc} * f_{fc} \quad (8)$$

$A_{fc}$  = Área a ser aplicado o têxtil

$f_c$  = Carga de ruptura teórica do têxtil

Em seguida é utilizado os mesmos passos da Equação 5 - Altura útil, Equação 6 - Momento de projeto da viga e Equação 7 - Carga de ruptura, para obter a carga de ruptura estimada das vigas.

### **3 METODOLOGIA**

Inicialmente este trabalho demonstra as características e aplicações do concreto têxtil, mediante a falta de regulamentação pela ABNT sobre o dimensionamento do CT, optou-se de além de dimensionar teoricamente e comparar com um dimensionamento de uma viga de concreto armado tradicional, também será realizado a execução de vigas em CT e em CA para oferecer mais credibilidade ao trabalho, obtendo dados reais sobre o provável aumento de resistência com CT.

Portanto, a abordagem adotada neste estudo é classificada como experimental, envolvendo testes de laboratório, seguindo os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023 para as vigas em CA. Nesse contexto, foi dimensionada uma viga de concreto armado e outra de concreto têxtil, levando em consideração as restrições de espaço do Laboratório de Estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, com o objetivo de analisar o comportamento estrutural destes elementos.

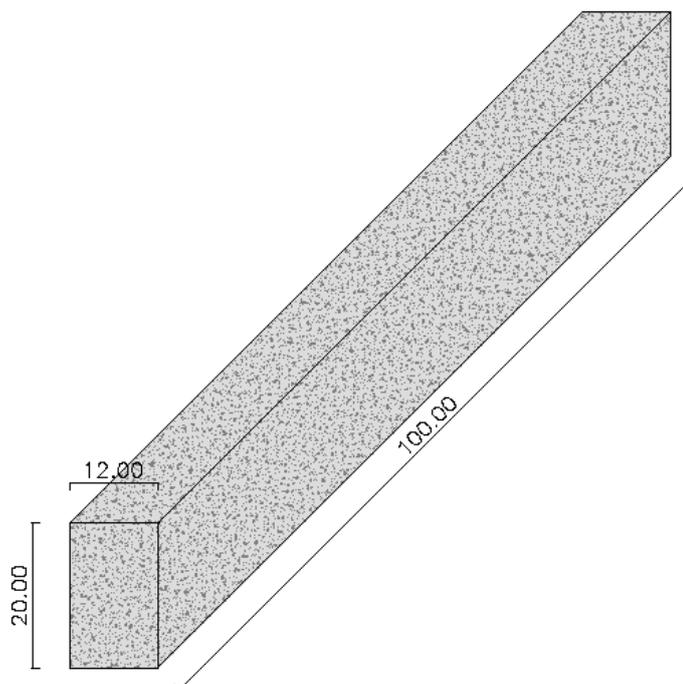
#### **3.1 CARACTERÍSTICAS DAS VIGAS**

Conforme o item 13.2.2 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023, p.73):

A seção transversal das vigas não pode apresentar largura menor que 12 cm e a das vigas-parede, menor que 15 cm. Estes limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm em casos excepcionais.

Optou-se na utilização de 12cm para a largura das vigas que serão produzidas, altura de 20cm e comprimento de 100cm, esta geometria como ilustrado na Figura 21, será tanto para as vigas testemunhas quanto para as vigas reforçadas em CT.

Figura 21 - Geometria da viga

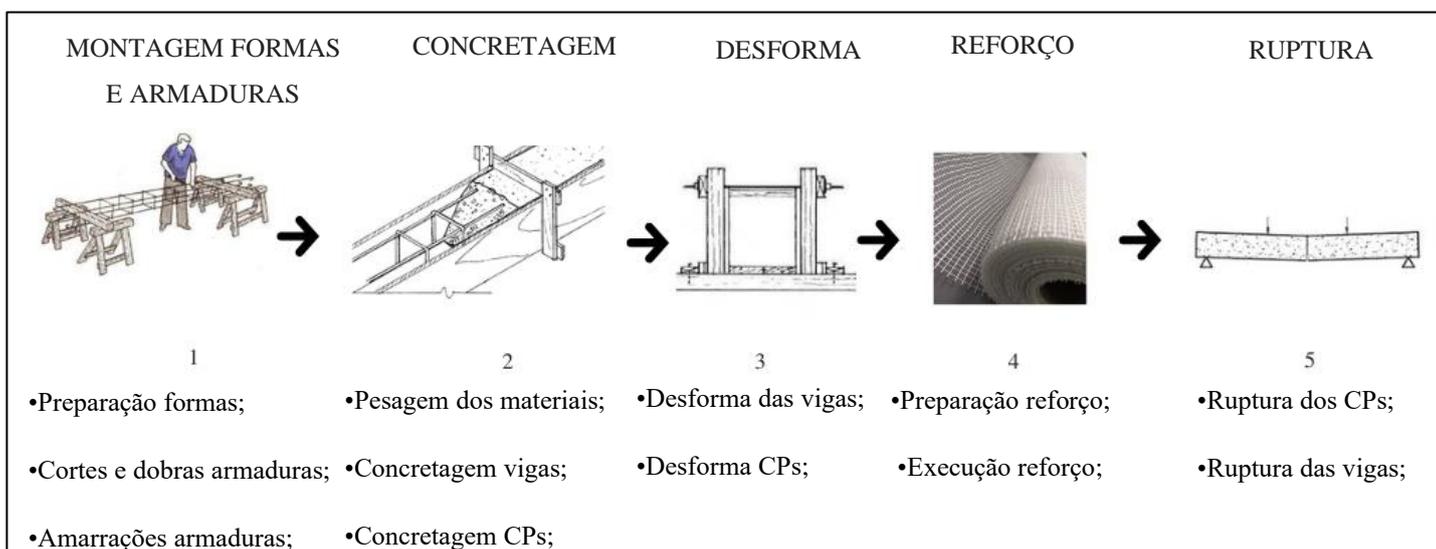


Fonte: Autor

### 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA EXECUÇÃO DAS VIGAS

Os materiais e o método utilizados para confecção das vigas serão descritos a seguir na Figura 22.

Figura 22 - Etapas de execução dos protótipos



Fonte: Autor

### 3.2.1 FORMAS

Conforme a dimensão das vigas citada no item 3.1, foi utilizado chapas compensadas resinadas de espessura de 0,14cm. O processo começa marcando os cortes manualmente com uma caneta ou lápis, após cortando as chapas, utilizando uma serra circular. A união das chapas foi feita com parafusos Chipboard Panela. Sendo chapas resinadas não houve foi necessário a utilização de desmoldantes.

Figura 23 - Execução de formas

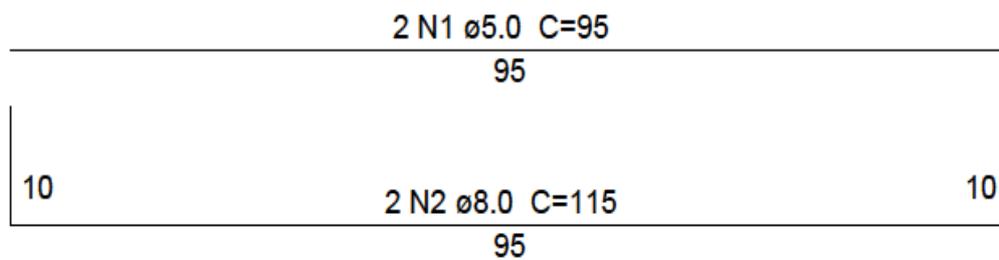
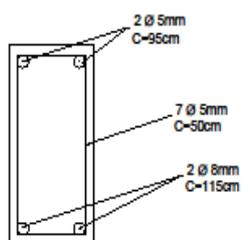
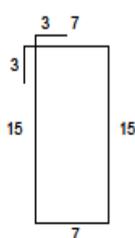


Fonte: Autor

### 3.2.2 AÇO

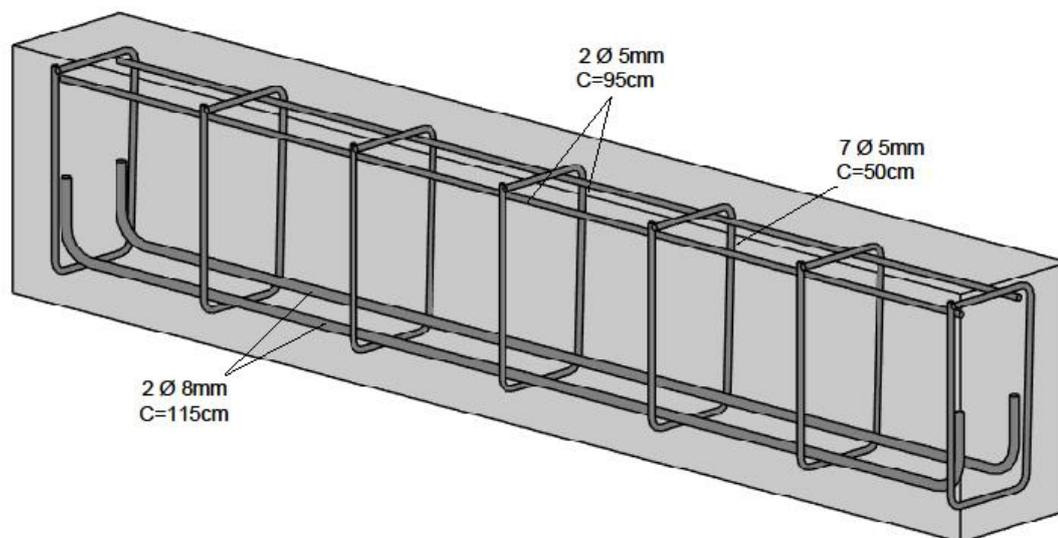
Na execução das armaduras foi utilizado aço CA-50 de  $\varnothing 8,00$  mm e também aço CA-60  $\varnothing 5,00$  mm. Começando pelas barras longitudinais, para a armadura negativa os vergalhões de  $\varnothing 5,00$  mm foram utilizados a fim de armadura de montagem apenas, não tendo função estrutural no elemento. Já a armadura positiva de  $\varnothing 8,00$  mm é a que terá impacto no dimensionamento e que se fará atuante no esforço de flexão. Para os estribos também foi usado  $\varnothing 5,00$  mm. Após o corte dos vergalhões feita com uma tesoura 36'', usou-se a dobradeira para efetuar as dobras de cada um dos elementos em seguida com uma torquês foi feita a amarração dos estribos com arame recozido de 1,24 mm. O espaçamento utilizado dos estribos foi de 15 cm. Segue detalhado nas Figura 24 e Figura 25.

Figura 24 - Detalhamento armadura

7 N3  $\varnothing$ 5.0 C=50cm C/15

Fonte: Autor

Figura 25 - Detalhamento 3D armadura



Fonte: Autor

Figura 26 - Execução corte de vergalhões



Fonte: Autor

Figura 27 - Montagem de armadura



Fonte: Autor

Figura 28 - Armaduras finalizadas



Fonte: Autor

### **3.2.3 CONCRETO**

#### **3.2.3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

Cimento: O cimento utilizado foi o Portland CP V-ARI, conhecido por sua resistência inicial elevada, sem a necessidade de adições de pozolânicas.

Agregado miúdo: Foi utilizado a área média natural, ela é caracterizada por grãos de tamanho intermediário, que variam de 0,25 a 0,5 milímetros de diâmetro. Sua textura equilibrada, resultante da combinação de grãos finos e grossos, confere-lhe propriedades ideais para diversas finalidades. Na construção, a areia média natural é frequentemente empregada na confecção de argamassas e concretos

Agregado graúdo: A brita número 1, de acordo com a norma brasileira NBR 7211:2009, é um tipo específico de agregado utilizado na construção civil. Conforme as diretrizes estabelecidas por essa norma, a brita número 1 é caracterizada por pedras com diâmetro entre 19 a 25 milímetros, atendendo a padrões rigorosos de qualidade e tamanho. A NBR 7211:2009 estabelece as especificações técnicas para diversos tipos de agregados utilizados na construção, incluindo critérios de granulometria, resistência e durabilidade. No contexto dessa norma, a brita número 1 é reconhecida como um material fundamental para a produção de concretos resistentes e pavimentação de estradas, garantindo conformidade com os padrões estabelecidos para a indústria da construção civil no Brasil.

#### **3.2.3.2 CONCRETAGEM**

Pensando em aproximar os testes experimentais o mais próximo da realidade das obras convencionais, optou-se por utilizar concreto com resistência característica a compressão (fck) de 25 MPa. O traço escolhido foi de 1:2:3 e 0,6 de água, sendo 60kg de Cimento CPV, 120kg de areia, 180kg de brita 1 e 36 litros de água.

Figura 29 - Materiais pesados para concretagem



Fonte: Autor

Foram todas medidas pesadas e seus baldes tarados previamente a concretagem como ilustra na Figura 29, assim chegando em exatamente nas quantidades citadas no item 3.2.3.2 de cada material. Segue resumo de quantitativo na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Traço teórico

Fck teórico 25MPa

	Cimento CPV	Areia média	Brita 1	Água
1° Concretagem	30 kg	60 kg	90 kg	18 L
2° Concretagem	30 kg	60 kg	90 kg	18 L
$\Sigma$	60 kg	120 kg	180 kg	36 L

Fonte: Autor

Com a betoneira previamente molhada foi feito a mistura dos materiais, na seguinte ordem, brita com aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de água, areia com mais  $\frac{1}{4}$  de água e posterior o cimento com  $\frac{2}{4}$  de água, além de 20 minutos de mistura para garantir perfeita homogeneidade do concreto, este processo foi feito duas vezes, uma para cada betonada, ilustrado na Figura 30 abaixo.

Figura 30 - Concreto



Fonte: Autor

Para cada betonada foi feito o teste Slump exigido pela NBR 7223:1992, ele tem como finalidade avaliar a consistência do concreto fresco, medindo a deformação que o concreto sofre quando é submetido a uma compressão axial leve. Seguindo as especificações da NBR 7223:1992 foi feito o Slump para cada betonada.

Tabela 5 - Slump

Slump	Altura
1° Betonada	110 mm
2° Betonada	110 mm

Fonte: Autor

Classificando a classe do concreto de acordo com a NBR 12655:2022 o resultado obtido foi C25 grupo I e a classe de consistência seguindo a NBR 15823:2017 foi S 100.

Figura 31 - Slump



Fonte: Autor

Após a verificação do teste slump e estando em conformidade, foi feito os corpos de prova, 3 unidades para cada betonada.

Os corpos de prova foram feitos seguindo as orientações da NBR 5738:2016, despejando o concreto em 3 fases, cada uma delas aplica-se 12 golpes com uma haste de metal.

Figura 32 - Corpos de prova



Fonte: Autor

Com o auxílio de um carrinho de mão foi levado o concreto próximo as formas, utilizou-se uma colher de pedreiro para despejar e um vibrador de agulha para garantir a retirada de todos os vazios do concreto.

Figura 33 - Vigas concretadas



Fonte: Autor

### 3.2.4 TÊXTIL

O têxtil escolhido foi o têxtil AR-360-RA-04 produzido pela empresa TEXIGLASS, na Tabela 6 segue dados fornecidos do têxtil, em seguida na Figura 34 segue o significado do código do têxtil:

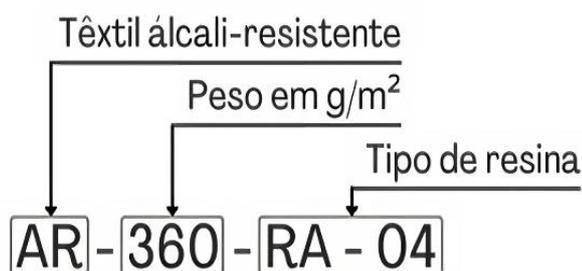
Tabela 6 - Dados de fibra têxtil

Dados AR-360-RA-04	Mínimo	Nominal	Máximo
Peso (g/m <sup>2</sup> )	324	360	396
Número de fio de urdume (fios/cm)	0,71	0,75	0,79
Número de fio de trama (fios/cm)	0,68	0,75	0,83
Título de fio de Urdume (Tex)	2160	2400	2640
Título de fio de Trama (Tex)	2160	2400	2640

Espessura sem resina (mm)	0,45	0,55	0,65
Espessura resinado (mm)	0,95	1,15	1,35
Carga de ruptura teórica do urdume (Kgf/cm)	43	54	59
Carga de ruptura teórica da trama (Kgf/cm)	43	54	59
Porcentagem de resina em peso (%)	17	20	23

fonte: Giese (2019), apud ficha técnica TEXIGLASS

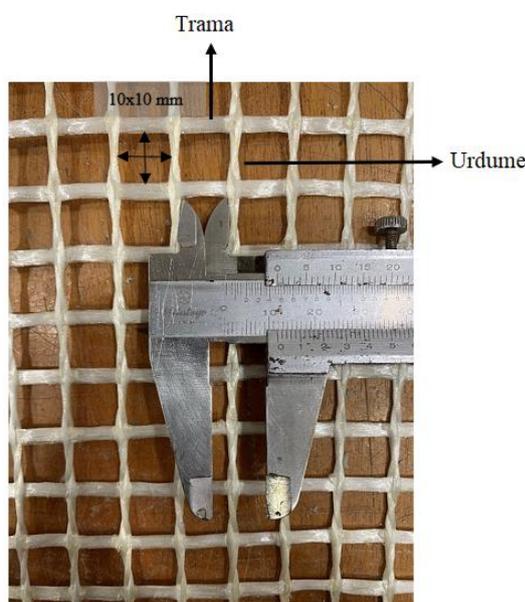
Figura 34 - Nomenclatura fibra têtil



fonte: Oestreich (2022), apud ficha técnica TEXIGLASS

Fabricado por meio de tecelagem, o têtil do tipo leno apresenta os fios de urdume torcidos em torno dos fios de trama, de modo a formar um reticulado, como mostrado na Figura 35 (Oestreich, 2022).

Figura 35 - Dimensões de trama x urdume



Fonte: Autor

Com o auxílio de uma tesoura foi cortado o têxtil, foram 3 tiras de 12cm por 90cm para serem aplicadas posteriormente na face inferior das vigas, a fins de contribuir esforços a armadura de flexão, também foi cortado 6 tiras de 25cm por 52cm aplicadas próximas aos apoios, protegendo assim as vigas a ruptura por cisalhamento.

Figura 36 - Preparação para aplicação do têxtil



Fonte: Autor

A viga passou por uma preparação para receber o reforço, sendo lixada na área determinada, com um disco de desbaste 9 polegadas acoplado em uma esmerilhadeira, após foi jateada cuidadosamente com um compressor de ar tirando toda e qualquer poeira ou resquício.

Como verificado na literatura, o aumento da rugosidade superficial do concreto é essencial para que ocorra aderência na interface matriz-substrato. Em vista disso, observou-se que uma vez que remover a superfície menos resistente do concreto e promove a abertura imediata dos poros (Oestreich, 2022).

Figura 37 - Lixamento de superfície das vigas



Fonte: Autor

A aplicação do têxtil à viga foi feita com argamassa ACIII, pois uma das dificuldades deste trabalho era garantir uma boa aderência e fixação do reforço na viga. O ACIII foi preparado conforme instruções do fabricante com auxílio de uma betoneira.

Figura 38 - Argamassa ACIII



Fonte: Autor

Com o auxílio de uma colher de pedreiro foi aplicado a argamassa cuidadosamente na área lixada, tentando manter uma espessura de 1-2 mm após colocando o têxtil que irá contribuir

a flexão na parte inferior da viga, em seguida as duas tiras, uma de cada lado, respeitando os apoios de 5cm, fazendo um “U” nas extremidades, enfim aplicando a camada final da argamassa de aproximadamente 1cm em toda área do têxtil.

Figura 39 - Vigas reforçadas em concreto têxtil



Fonte: Autor

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Para melhor resultado foi ensaiado os vergalhões, feito o ensaio e tração do aço ISO 6892-1 para obter com precisão a sua resistência e a deformação, resultados em tabela abaixo e relatório de ensaio em Anexos A:

Figura 40 - Ensaio e tração do aço ISO 6892-1

Ø 5mm

Ø 8mm



Fonte: Autor

Tabela 7 - Tensão de escoamento do aço

Ø DE VERGALHÃO                      MÉDIA TENSÃO DE ESCOAMENTO (MPA)

Ø 8,00 MM	606,84
Ø 5,00 MM	720,64

Fonte: Autor

## 4.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO

Após 28 dias de cura os 6 CP's foram retirados da caixa d'água e então retificados assim tornando suas superfícies planas. O ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos seguiu as orientações da NBR 5739:2018.

Figura 41 - Corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autor

Tabela 8 - Resistência a compressão CP's

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
$\sigma$ (MPa)	42,52	39,78	42,99	42,96	42,84	39,65

Fonte: Autor

A concretagem das vigas testemunhas tiveram como média de resistência a compressão 41,80 MPa e as reforçadas 41,76 MPa, relatório de ensaios em Anexos B.

Figura 42 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autor

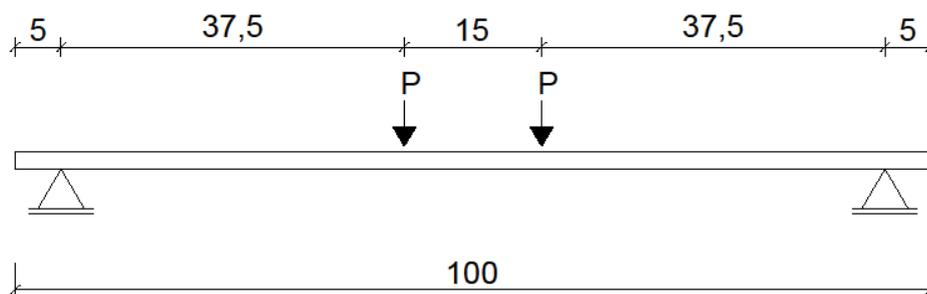
### 4.3 ENSAIO DE FLEXÃO

#### 4.3.1 ENSAIO DE FLEXÃO A 4 PONTOS

Para validar o desempenho das vigas em relação a força máxima resistida foi realizado o ensaio de Stuttgart no laboratório de engenharia civil da UNISC na prensa modelo DL30000, com capacidade de 300 kN, da empresa EMIC.

Por conta das vigas terem 100 cm de comprimento sendo 90 cm de vão útil os dois pontos de cargas deveriam ser mais próximos do centro da viga, para assim ela romper por flexão. Foi determinado que o vão entre as cargas seria de 15 cm, 7,5 cm do centro da viga para cada um dos lados. Segue relatório de ensaios em Anexos C.

Figura 43 - Pontos de aplicação de carga



Fonte: Autor

Figura 44 - Ensaio de Stuttgart viga testemunha



Fonte: Autor

Figura 45 - Ruptura viga testemunha



Fonte: Autor

Figura 46 - Ensaio de Stuttgart viga 1 CT



Fonte: Autor

Figura 47 - Ruptura viga 1 CT



Fonte: Autor

Figura 48 - Ensaio de Stuttgart viga 2 CT



Fonte: Autor

Figura 49 - Ruptura viga 2 CT



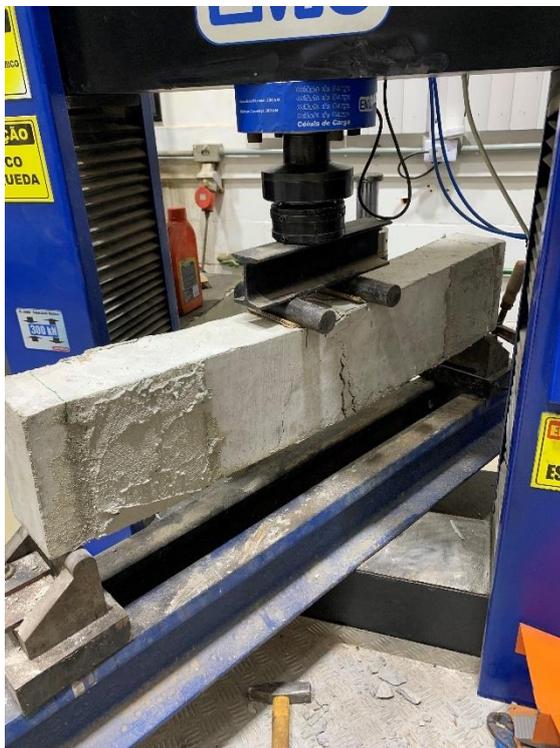
Fonte: Autor

Figura 50 - Ensaio de Stuttgart viga 3 CT



Fonte: Autor

Figura 51 - Ruptura viga 3 CT



Fonte: Autor

Tabela 9 - Força de ruptura ensaio de Stuttgart

Amostras	Força de ruptura real (kN)
Viga 1	62,37
Viga 2	63,39
Viga 3	56,32
Testemunha	58,43

Fonte: Autor

#### 4.4 RESULTADOS CALCULOS TEÓRICOS

Seguindo as equações do item 2.9.1 e adaptando a Equação 7 - Carga de ruptura para:

Equação 9 - Adaptação carga de ruptura

$$\frac{\frac{P}{2}}{\frac{M_d}{37,5}} \quad (9)$$

Obtendo os resultados das cargas de ruptura calculadas. Segue memória de cálculo para viga testemunha e vigas com reforço têxtil:

##### CARGA ESTIPULADA DE RUPTURA - VIGA TESTEMUNHA

$$R_{cc} = R_{st}$$

$$0,8 * X * b * f_c * \eta_c = A_s * f_{y_m}$$

$$b = 12 \text{ cm}$$

$$f_c = 4,180 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 1 \text{ cm}^2$$

$$f_{y_m} = 60,687 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta_c = 0,99$$

$$X = 1,534 \text{ cm}$$

$$d = h - (\text{COBRIM.} + \text{ESTRIBO} + (0,5 * \text{ARMAD. LONG}))$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$\text{COBRIM} = 2,5 \text{ cm}$$

$$\text{ESTRIBO} = 0,5 \text{ cm}$$

$$\text{ARM LONG} = 0,8 \text{ cm}$$

$$d = 16,6 \text{ cm}$$

$$M_d = 0,8 * X * b * f_c * (d - 0,4 * X)$$

$$M_{est.rup} = 984,21 \text{ kN cm}$$

$$(P/2) / (M_{est.rup} / (37,5))$$

$$l = 90 \text{ cm}$$

$$P = 52,49 \text{ kN}$$

## CARGA ESTIPULADA DE RUPTURA - VIGA REFORÇADA

$$R_{cc} = R_{st}$$

$$0,8 * X * b * f_c * \eta_c = A_s * f_{ym} + A_{fc} * f_{fc}$$

$$b = 12 \text{ cm}$$

$$f_c = 4,1763 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 1 \text{ cm}^2$$

$$f_{ym} = 60,687 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{fc} = 0,168 \text{ cm}^2$$

$$f_{fc} = 59 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta_c = 0,99$$

$$X = 1,786 \text{ cm}$$

$$d = h - (\text{COBRIM.} + \text{ESTRIBO} + (0,5 * \text{ARMAD. LONG}))$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$\text{COBRIM} = 2,5 \text{ cm}$$

$$\text{ESTRIBO} = 0,5 \text{ cm}$$

$$\text{ARM LONG} = 0,8 \text{ cm}$$

$$d = 16,6 \text{ cm}$$

$$M_d = 0,8 * X * b * f_c * (d - 0,4 * X)$$

$$M_{\text{est.rup}} = 1137,7 \text{ kN cm}$$

$$(P/2) / (M_{\text{est.rup}} / (37,5))$$

$$l = 90 \text{ cm}$$

$$P = 60,68 \text{ kN}$$

## 5 ANÁLISES

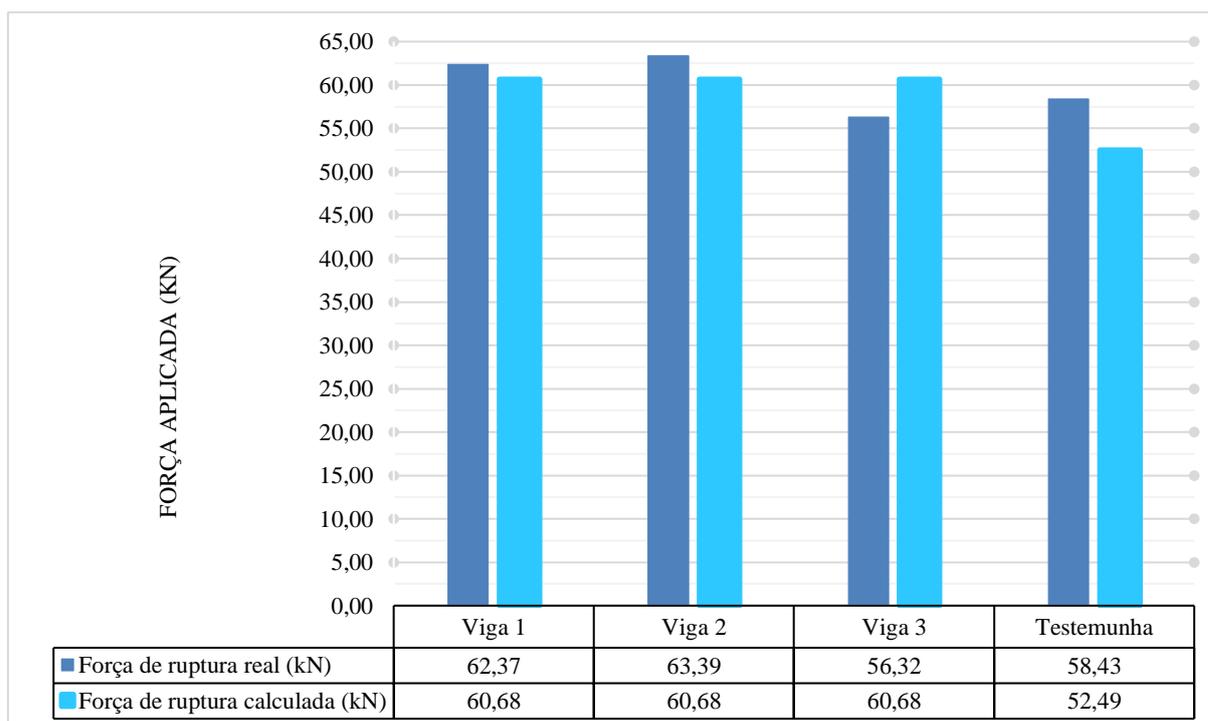
A análise comparativa entre as amostras de Vigas Ref. 1, Ref. 2 e Ref. 3, em relação à Testemunha, revela informações importantes sobre as forças de ruptura envolvidas. A Viga Ref. 1 apresenta uma força de ruptura real de 62,37 kN, enquanto o valor calculado é 60,68 kN, indicando uma precisão de 2,78%. A Viga Ref. 2, com uma força de ruptura real de 63,39 kN, possui um valor calculado de 60,68 kN, mostrando uma precisão de 4,47%. No entanto, a Viga Ref. 3 exibe uma discrepância negativa de -7,18%, com uma força de ruptura real de 56,32 kN e um valor calculado de 60,68 kN. Por fim, a Testemunha apresenta uma força de ruptura real de 58,43 kN, enquanto a força calculada é 52,49 kN, resultando em uma precisão de 11,31%. Segue Tabela 10 com resumo dos resultados analisados.

Tabela 10 - Comparação entre força de ruptura real x calculada

Amostras	Força de ruptura real (kN)	Força de ruptura calculada (kN)	Real X Calculada (%)
Viga 1	62,37	60,68	2,79%
Viga 2	63,39		4,47%
Viga 3	56,32		-7,18%
Testemunha	58,43	52,49	11,31%

Fonte: Autor

Gráfico 2 - Força de ruptura real X calculada

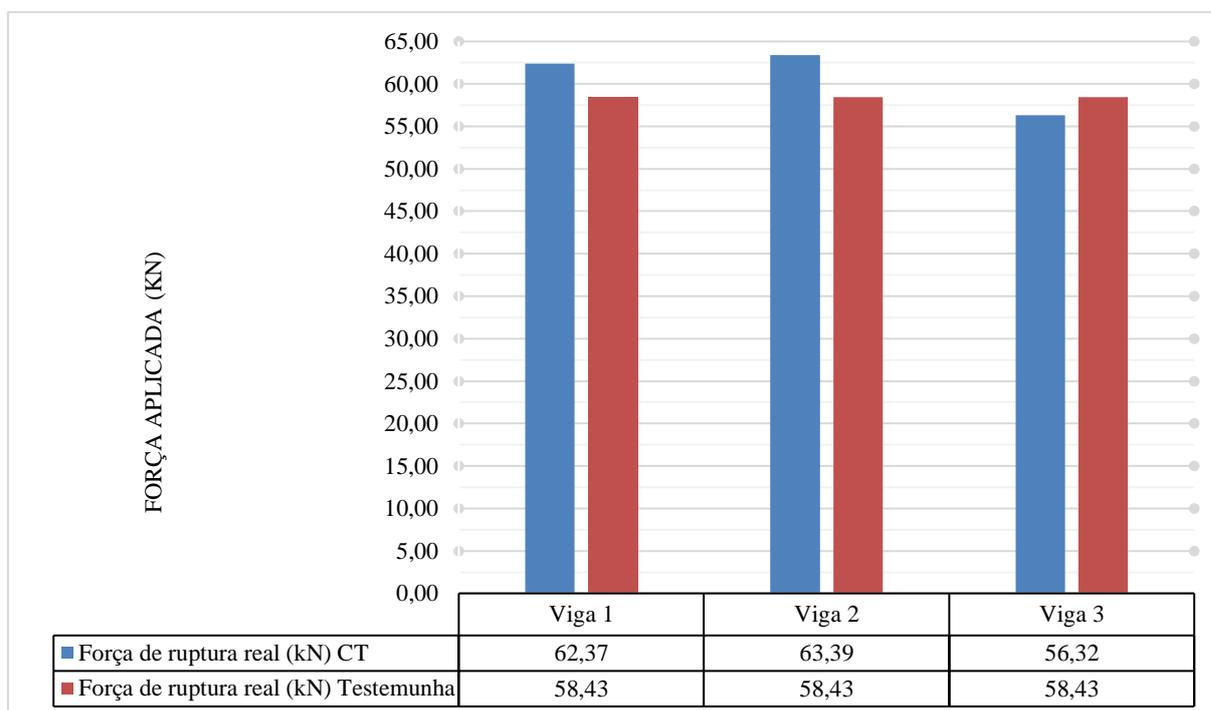


Fonte: Autor

Esses resultados ressaltam a importância da precisão nos cálculos, particularmente ao considerar a segurança e confiabilidade das estruturas. A Viga Ref. 1 e Ref. 2 demonstram uma boa concordância entre os valores calculados e reais, indicando um bom desempenho do método utilizado. Contudo, as discrepâncias na Viga Ref. 3 e, especialmente, na Testemunha, realçam a necessidade de uma revisão cuidadosa nos procedimentos de execução para assegurar resultados mais precisos e confiáveis no futuro.

As Vigas Ref. demonstram um ganho significativo de resistência em comparação com a Testemunha. A força de ruptura real registrada na Viga Ref. 2, 63,39 kN, representa um aumento de aproximadamente 8,48% em relação à força de ruptura real da Testemunha, que foi de 58,43 kN.

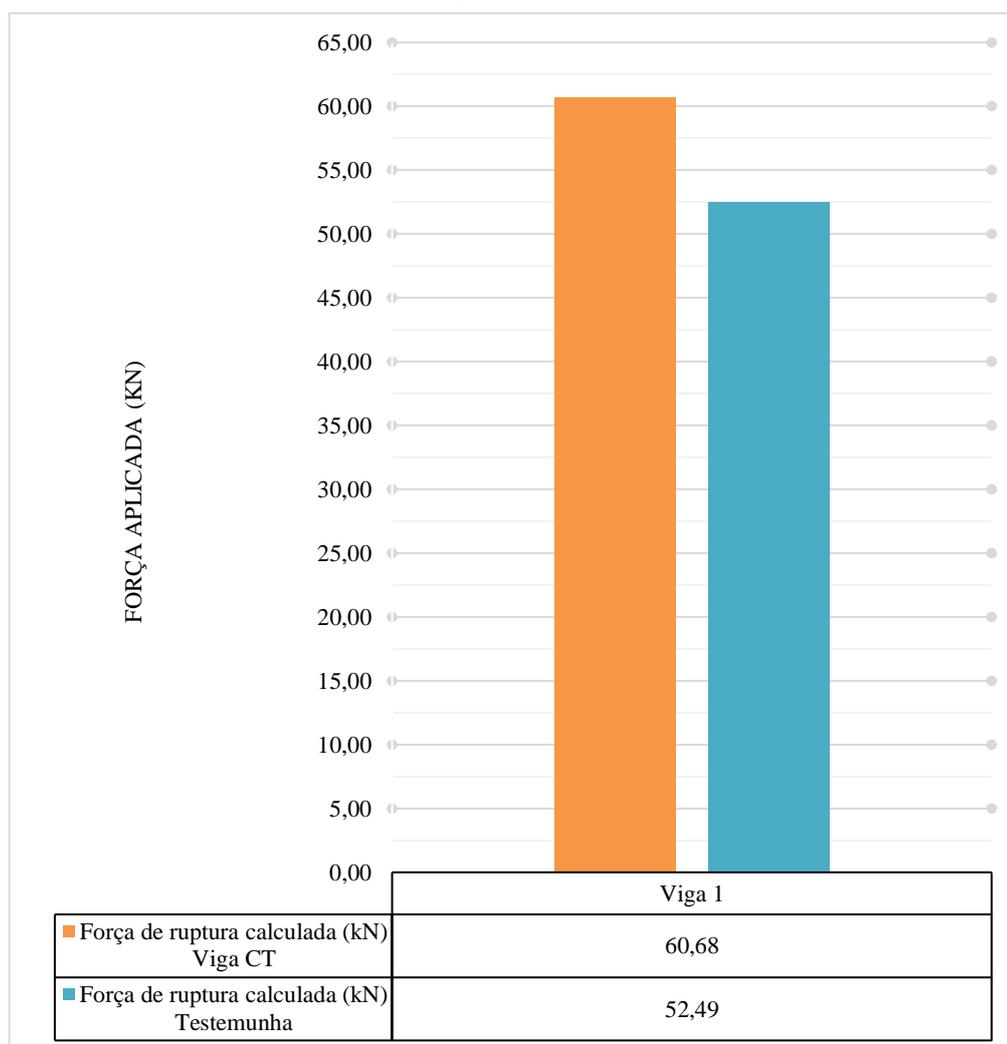
Gráfico 3 - Força de ruptura real CT X Testemunha



Fonte: Autor

A análise da força de ruptura calculada entre as Vigas Ref., que registrou 60,68 kN, e a Testemunha, com um valor calculado de 52,49 kN. As Vigas Ref. exibem uma força de ruptura calculada superior à da Testemunha, indicando uma capacidade de carga prevista mais elevada. Essa diferença de 8,08 kN, ou aproximadamente 15,61%, não foi confirmada na prática o melhor dos protótipos foi registrado na Viga Ref. 2 com 63,39 kN, representa um aumento de aproximadamente 8,48% em relação à força de ruptura real da Testemunha, que foi de 58,43 kN, contudo é eficaz o método do CT porém não tanto quanto esperado.

Gráfico 4 - Força de ruptura calculada CT X Testemunha



Fonte: Autor

Também é notável destacar que o processo de ruptura das vigas ocorreu de acordo com as expectativas, seguindo um padrão de flexão em vez de cisalhamento, mesmo considerando o tamanho relativamente pequeno das vigas em questão. Essa conclusão é respaldada pelo fato de que a ruptura ocorreu no centro da viga, acompanhada por uma fissuração reta para baixo, indicando claramente um comportamento de flexão.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu a ampliação dos conhecimentos sobre concreto têxtil ao confrontar resultados teóricos com os reais obtidos por meio de ensaios. O foco principal do trabalho foi a avaliação de três protótipos de vigas em concreto têxtil e uma em concreto armado, o dimensionamento feito por cálculos teóricos e sua posterior comparação com os resultados obtidos.

Para avaliar a resistência dos protótipos, foi utilizado um ensaio de flexão, com a aplicação de cargas pontuais em pontos específicos, tanto na estrutura sem reforço quanto nas estruturas com reforço. Esse procedimento permitiu analisar os cálculos utilizados nos modelos. Ao comparar os resultados, foi evidenciado que a carga de ruptura real de todos os protótipos ensaiados se aproximou significativamente da carga de ruptura calculada, validando assim o modelo de cálculo empregado.

A execução do CT com uma camada de fibra têxtil AR-360-RA-04 se mostrou eficiente em seu resultado final tendo em média um ganho de resistência de aproximadamente 4%, com o maior ganho de 8,49% referente a Viga 2, o ganho esperado teoricamente era de 15,60%, porém a execução e aplicação do CT nas vigas não é algo tão simples de se fazer sem um treinamento ou uma mão de obra mais qualificada, sendo isto um empecilho a se considerar para a utilização desta técnica em obras civis. O baixo ganho de resistência em comparação a viga testemunha seria mais viável a análise de outros métodos de reforço que proporcionem um ganho mais significativo de resistência.

Portanto é possível concluir que a execução do reforço com concreto têxtil em obras civis apresenta uma série de desafios e dificuldades que demandam cuidado e expertise por parte dos profissionais envolvidos. A natureza flexível e maleável do material têxtil exige uma aplicação meticulosa para garantir que a camada seja uniformemente distribuída. Além disso, a aderência eficaz entre o concreto existente e o novo material têxtil é crucial para assegurar a força do reforço. O controle adequado do tempo de cura e a aplicação correta de pressão são fundamentais para garantir a integração perfeita entre os materiais, o que pode ser especialmente desafiador em condições climáticas adversas. Além disso, a necessidade de treinamento especializado para os operários que realizam o trabalho é vital, pois a execução inadequada pode resultar em falhas estruturais. A dificuldade de execução do reforço com concreto têxtil destaca a importância de uma abordagem cautelosa, técnicas e supervisão especializada para garantir a segurança e a eficácia dessas intervenções em obras civis.

## **7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **1 Exploração de Outros Tipos de Têxtil:**

1.1 Pesquisa sobre a aplicação de diferentes tipos de têxteis, além de fibra de vidro, para avaliar seu desempenho no concreto têxtil.

1.2 Comparação das propriedades do concreto têxtil usando fibras de vidro, carbono, aramida, entre outras, para determinar qual tipo de têxtil oferece o melhor resultado em termos de resistência.

### **2 Investigação de Múltiplas Camadas de Fibra Têxtil:**

2.1 Estudo sobre os efeitos do uso de várias camadas de fibra têxtil no concreto reforçado, para entender como camadas adicionais influenciam a resistência.

7.2.2 Avaliação da aplicação prática de múltiplas camadas de fibra têxtil em diversas configurações estruturais para determinar a eficácia dessa técnica.

### **3 Análise do Aumento na Resistência:**

3.1 Pesquisa detalhada para quantificar e comparar o aumento na resistência alcançado com diferentes combinações de tipos de têxtil e número de camadas.

3.2 Estudo experimental para entender a relação entre o aumento no número de camadas de fibra têxtil e o aumento correspondente na resistência do concreto, visando encontrar a configuração mais eficaz.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_.NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_.NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

\_\_\_\_\_.NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

\_\_\_\_\_.NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_.NBR 7223: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_.NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

\_\_\_\_\_.NBR 15823-1: Concreto autoadensável - Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_.NBR ISSO 6892-1: Materiais metálicos — Ensaio de Tração - Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ALI, Willyam Martin, Reforço em viga fissurada com aplicação de concreto têxtil. 2021, 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, 2021.

Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC: Textile Reinforced Concrete, p. 11–27, 2006.

BASTOS, P. S. S. Flexão Normal Simples – Vigas. Notas de aula da disciplina de Estruturas de Concreto I. 2020. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Bauru, São Paulo - SP. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/>. Acesso em: 19 de mai. 2023.

BAUNETZ WISSEN. Textilbeton. Berlin, 2018. Disponível em: <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/betonarten/textilbeton-841665>>. Acesso em: 04 mai. 2023.

BOURNAS, D. Strengthening of existing structures: Selected case studies. In: TRIANTAFILLOU, T. Textile Fibre Composites in Civil Engineering. 1. ed. Duxford: Woodhead Publishing, 2016. Cap. 17, p. 389-411.

BRAMESHUBER, W. Manufacturing methods for textile-reinforced concrete. In: TRIANTAFILLOU, T. C. (Ed.). Textile Fibre Composites in Civil Engineering. Woodhead Publishing, 2016, p. 45-59.

BRAMESHUBER, W.; BROCKMANN, T.; CURBACH, M.; MEYER, C.; VILKNER, G.; MOBASHER, B.; PELED, A.; REINHARDT, H. W.; KRÜGER, M.; WASTIELS, J. Concrete/Matrix. In: BRAMESHUBER, W. (Ed.). Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC. RILEM Publications SARL, 2006. p. 29-56.

BRESCOVIT, S. J. Avaliação da durabilidade de painéis de concretos têxteis com utilização de telas de fibras de vidro resistente aos álcalis do cimento. 2021. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo.

BROCKMANN, Tanja; BRAMESHUBER, Wolfgang. Mechanical and fracture mechanical properties of fine-grained concrete for textile reinforced composites. Fakultät für Bauingenieurwesen, 2006.

DALAZEN, Carolina dal Agnol. Reforço à flexão de vigas em concreto armado com a utilização de argamassa reforçada com têxteis de carbono e de vidro. 2021. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/234937/001136502.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 mai. 2023.

DENARDI, Aline. Concreto têxtil: uma revisão bibliográfica sobre desenvolvimentos, aplicações e perspectivas de estudos e empregos no Brasil. 2016, 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

GIESE, Andressa Cristine Hamilko, Utilização de argamassa reforçada com têxtil de fibra de vidro álcali resistente para reforço à flexão de vigas de concreto armado. 2019, 190 f. Trabalho

de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Engenharia Civil). Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2019.

GRIES, T. et al. Textiles. In: BRAMESHUBER, W. Textile Reinforced Concrete - State of the Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC. França: RILEM Publications, 2006

HEGGER, J. et al. 6.2 Mechanical behaviour of textile reinforced concrete. In: BRAMESHUBER, W. Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report. Bagnaux, France: RILEM Publications SARL, 2006. p. 133-183.

HERING ARCHITECTURAL CONCRETE. References. Burbach, 2018. Disponível em: <<https://www.heringinternational.com/en/products-services/architectural-concrete/material-concepts/textile-reinforced-concrete/betoshellsandwich/>>. Acesso em: 08 mai. 2023.

JESSE, F.; ORTLEPP, R.; CURBACH, M. Tensile Stress-Strain Behaviour of Textile Reinforced Concrete. v. 15, 2005.

KULAS, C. et al. Hinterlüftete Vorhangfassaden aus Textilbeton - Tragverhalten und Ausführung. Bautechnik, v.88, n. 5, p. 271-280, 2011.

KULAS, C. Actual applications and potential of textile-reinforced concrete. GRCA CONGRESS. Dubai: [s.n.]. 2015. p. 1-11.

LARRINAGA, P. et al. Experimental Study of the Flexural Behaviour of Low Performance RC Beams Strengthened with Textile Reinforced Mortar. International RILEM Conference on Material Science – MATSCI, ICTRC. Aachen: RILEM Publications SARL. 2010. p. 235-244.

Leuck, Pedro Henrique, Estudo da influência de diferentes têxteis de fibra de vidro no comportamento mecânico do concreto têxtil. 2018, 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Curso de Engenharia Civil, Universidade do vale do rio dos sinos - UNISINOS, São Leopoldo, 2018.

NAAMAN, A. Textile reinforced cement composites: competitive status and research directions. International RILEM Conference on Materials Science. Aachen: RILEM Publications SARL. 2010. p. 3-22.

NORA, Juliana Berteli. Análise experimental do Concreto Têxtil como reforço à flexão de vigas de concreto armado. 2018, 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

Oestreich, Cleiton Ricardo, Análise experimental de vigas em concreto armado reforçadas à flexão com concreto têxtil de fibra de vidro álcali-resistente. 2022, 185 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Engenharia Civil). Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2022.

ORTLEPP, Regine. Untersuchungen Zue Verbundverankerung Textilbewehrter Feinbetonverstärkungs-schichten für Betonbauteile. 2007. 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Fakultät Bauingenieurwesen. Technischen Universität Dresden. Dresden Alemanha, 2007.

OTT, Maira Janaina. Estudo do comportamento mecânico e da durabilidade de matriz de concreto têxtil através de ensaios. 2018. 92 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstr>. Acesso em: 13 mai. 2023.

PELED, A.; BENTUR, A. Geometrical characteristics and efficiency of textile fabrics for reinforcing cement composites. v. 30, p. 0–9, 2000.

PELED, A.; BENTUR, A.; MOBASHER, B. Textile Reinforced Concrete. 1. ed. Taylor & Francis, 2017. 473 p.

PETRE, D.; ZAPALOWICZ, I. Analysis of reinforced concrete slabs strengthened with textile reinforcement - Non-linear finite element analysis. Suécia. 2012. p.66. Master o Science thesis in the Master's Programme. Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineerin,Concrete Structure, Chalmers University of Technology, Göteborg / Sweden.

PETRE, D.; ZAPALOWICZ, I. Analysis of reinforced concrete slabs strengthened with textile reinforcement - Non-linear finite element analysis. Suécia. 2012. p.66. Master o Science hesis in the Master's Programme. Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineerin,Concrete Structure, Chalmers University of Technology, Göteborg / Sweden.

PORTO, T. B.; FERNANDES, D. S. G. Curso básico de concreto armado. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

RAUPACH, M.; CRUZ, C. Textile-reinforced concrete: Selected case studies. In: TRIANTAFILLOU, T. Textile Fibre Composites in Civil Engineering. 1. ed. Duxford: Woodhead Publishing, 2016. Cap. 12, p. 275-299. REGÁS, F. J.; BOLAÑOS, J. C. Piedra moldeada - Grc y hormigón arquitectónico. Barcelona, IECA, 2007.

RAUPACH, M.; CRUZ, C. Textile-reinforced concrete: Selected case studies. In: TRIANTAFILLOU, T. Textile Fibre Composites in Civil Engineering. 1. ed. Duxford: Woodhead Publishing, 2016. Cap. 12, p. 275-299. REGÁS, F. J.; BOLAÑOS, J. C. Piedra moldeada - Grc y hormigón arquitectónico. Barcelona, IECA, 2007.

SERRA, Bruna Adriane. Concreto têxtil e concreto armado convencional: comparativo entre metodologias de dimensionamento de uma passarela. 2018. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/11329/Bruna%20Adriane%20Serra.pdf?sequence=1>. Acesso em: 13 mai. 2023.

SHAMS, A.; HEGGER, J.; HORSTMANN, M. An analytical model for sandwich panels made of textile-reinforced concrete. Construction and Building Materials, v.64, p. 451-459, 2014.

SILVA, Katriéli Tamara da. Concreto têxtil: estudo do comportamento da resistência à tração na flexão de painéis para fachadas. 2020. 70 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul -, Santa Cruz do Sul, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/3047/1/Katri%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2023.

SILVA, Rebecca Mansur de Castro. Comportamento mecânico de concretos têxteis reforçados com tecido de carbono: aspectos materiais e estruturais. 2018. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Puc - Rio, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/51902/51902.PDF>. Acesso em: 13 mai. 2023.

ŽÁK, J; ŠTEMBRK, P. E VODIČK , J. Production of a textile reinforced concrete protective layers with non-woven polypropylene fabric. In: Materials Science and Engineering. 2017, p. 1-6.































