

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL – UNISC

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Katriéli Tamara da Silva

**CONCRETO TÊXTIL: ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA À
TRAÇÃO NA FLEXÃO DE PAINÉIS PARA FACHADAS**

Santa Cruz do Sul

2020

Katrieli Tamara da Silva

**CONCRETO TÊXTIL: ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA À
TRAÇÃO NA FLEXÃO DE PAINÉIS PARA FACHADAS**

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

Orientador: Prof. Ms. Lucas Alexandre Reginato.

Santa Cruz do Sul

2020

RESUMO

Cada vez mais se tem a necessidade em introduzir novas tecnologias no ramo da construção civil, visando a minimização dos impactos ambientais, sociais e financeiros. Para isso, o desenvolvimento de novos materiais, meios de fiscalização e a industrialização dos processos tem mostrado grandes avanços para a área. No que diz respeito a inovação de materiais, o presente trabalho aborda a introdução do concreto têxtil como potencial substituidor do concreto armado comumente utilizado na área, pois proporciona a diminuição considerável do consumo dos componentes necessários para o atual concreto armado, sem perder, e até mesmo aperfeiçoando, as propriedades mecânicas e físicas normatizadas para elementos estruturais. Outro fator importante nos avanços da construção civil, é a eficiente inserção das normas técnicas brasileiras, em vista disso a norma ABNT NBR 15575/2013 (Norma de Desempenho de Edificações, onde estabelece requisitos e critérios de desempenho quanto a área de segurança, habitabilidade e sustentabilidade) tem ganhado destaque nos últimos anos. Estas normas, aperfeiçoadas ou criadas, trouxeram consigo a possibilidade de novas empresas ou das empresas já existentes se aprimorarem, pois auxiliam na modernização e racionalização do canteiro de obra, como por exemplo em elementos pré-fabricados que chegam na obra com objetivo de contribuir nos custos, futuras manutenções e erradicar problemas com a escassez da mão de obra cada vez mais presente neste meio. Tendo em vista os atuais problemas com métodos tradicionais e a incessante busca por novas tecnologias, o presente trabalho vem para contribuir com o setor, no estudo de painéis pré-fabricados para fachadas em concreto têxtil, analisando o seu comportamento quando submetidos a ensaio de tração na flexão. Sob estas perspectivas, foi realizada a análise final do comportamento do compósito através do ensaio de Stuttgart e a partir do cálculo de pressão de sucção do vento, devido ao vento ter grande influência sobre elementos de fachadas. Logo, não havendo critérios normativos muito específicos aos painéis de concreto têxtil, por se tratar de elementos ainda em estudo, adaptou-se alguns ensaios de acordo com as normas brasileiras. Mesmo assim, ressalta-se que os resultados obtidos foram de grande potencial para a aplicabilidade dos painéis em fachadas.

Palavras-chave: Painéis, Concreto têxtil, Pré-fabricado, Fachadas.

ABSTRACT

There is an increasing need to introduce new technologies in the field of civil construction, aiming at minimizing environmental, social and financial impacts. For this, the development of new materials, means of inspection and the industrialization of processes has shown great advances for the area. With regard to material innovation, the present work addresses the introduction of textile concrete as a potential substitute for reinforced concrete commonly used in the area, as it provides a considerable reduction in the consumption of the components necessary for the current reinforced concrete, without losing, and even even improving, the mechanical and physical properties standardized for structural elements. Another important factor in the advances in civil construction is the efficient insertion of Brazilian technical standards, in view of this the ABNT NBR 15575/2013 standard (Building Performance Standard, where it establishes performance requirements and criteria regarding the area of safety, habitability and sustainability) has gained prominence in recent years. These standards, whether perfected or created, brought with them the possibility of new companies or existing companies improving themselves, as they help in the modernization and rationalization of the construction site, such as for example in prefabricated elements that arrive at the construction site in order to contribute to costs, future maintenance and eradicating problems with the scarcity of labor increasingly present in this medium. In view of the current problems with traditional methods and the incessant search for new technologies, the present work comes to contribute to the sector, in the study of prefabricated panels for textile concrete facades, analyzing their behaviors when developing a flexural tensile test. From these perspectives, the final analysis of the behavior of the composite was carried out through the Stuttgart test and from the calculation of wind suction pressure, due to the wind having a great influence on façade elements. Therefore, since there are no very specific normative criteria for textile concrete panels, as these are elements still under study, some tests were adapted according to Brazilian standards. Even so, it is noteworthy that the results obtained were of great potential for the applicability of panels on facades.

Keywords: Panels, Textile concrete, Prefabricated, Facades.

LISTA DE SÍMBOLOS

R_c	É a resistência à compressão, em MPa.
R_f	É a resistência à tração na flexão, em MPa.
F_c	É a carga máxima aplicada, em N.
F_f	É a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N.
mm	Milímetros
cm	Centímetros
m	Metros
A	Área da seção transversal, mm ² .
L	Distância entre os suportes, mm.
V	Esforço do vento, Kn/m
P_e	Pressão do vento, em kN/m ² ;
L_p	Largura do painel, em m;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas do concreto têxtil	15
Figura 2 – Sistema de reforço para concreto: (a) concreto armado convencional, (b) concreto reforçado com fibras dispersas e (c) concreto têxtil	16
Figura 3 – Fibra têxtil em formato de tela ou malha	17
Figura 4 - Fibra têxtil entrelaçada	18
Figura 5 – Comportamento padrão ensaio de arrancamento	21
Figura 6 - Gráfico tensão-deformação.....	22
Figura 7 - Direção do reforço	23
Figura 8 – Diferentes geometrias têxteis.....	23
Figura 9 - Curvas típicas de força versus deslizamento. Comparação entre tecido de carbono flexível e tecido de carbono rígido, empregados em matriz cimentícia com mesma composição	24
Figura 10 - Curvas com carregamento cíclico e uniforme.....	26
Figura 11 - Concreto têxtil utilizado em móveis	28
Figura 12 - Concreto têxtil utilizado em fachadas.....	29
Figura 13 - Dimensões usuais de painéis para fachadas em concreto armado	30
Figura 14 - Fachada-cortina ventilada, Albstadt.....	31
Figura 15 – Fachada-cortina ventilada SchieferErlebnis, Dormettingen	32
Figura 16 – Dimensões do protótipo com reforço estrutural	34
Figura 17 – Amostra do modelo AR-360-RS-04	36
Figura 18 – Molde tronco cônico.....	41
Figura 19 – Aspecto da primeira dosagem.....	42
Figura 20 – Etapas do ensaio de espalhamento: (a) molde preenchido; (b) medição do primeiro diâmetro; (c) medição do segundo diâmetro.....	43
Figura 21 – Corpos de provas, cilíndricos e prismáticos, em seus moldes	45
Figura 22 – Fôrma	46
Figura 23 – Fluxograma dos procedimentos.....	47
Figura 24 – Posicionamento da malha têxtil na fôrma	48
Figura 25 – Aspecto final do compósito, após concretagem	48
Figura 26 – Aspecto final do compósito, após cura	49
Figura 27 – Aspecto lateral do compósito, após desforma.....	49
Figura 28 – Aspecto frontal do compósito, após desforma	49

Figura 29 – Ensaio de flexão a 4 pontos	50
Figura 30 – Etapas do ensaio de flexão a 4 pontos: (a) posicionamento; (b) primeiras fissuras; (c) aspecto final, com a conclusão do ensaio; (d) compósito rompido	51
Figura 31 – Estádio I, elemento sem fissuras	57
Figura 32 – Estádio IIa, elemento com fissuras verticais centralizadas	57
Figura 33 – Estádio Ib, elemento com fissuras espalhadas pelo compósito	58
Figura 34 – Estádio III, ruptura da placa 01.	58
Figura 35 – Estádio III, ruptura da placa 02	59
Figura 36 – Diagrama Tensão x Deslocamento, placa 01	59
Figura 37 – Diagrama Tensão x Deslocamento, placa 02	60
Figura 38 – Momento fletor mínimo para uma placa ser aplicada na fachada.....	61
Figura 39 – Momento fletor mínimo da Placa 01.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades da malha AR-360-RA-04.....	36
Tabela 2 – Características do cimento CP V - ARI	37
Tabela 3 – Características da sílica ativa 920 D	37
Tabela 4 – Características dos agregados miúdos.....	38
Tabela 5 – Características do Superplastificante Tec-Flow 8000.....	39
Tabela 6 – Dosagem das misturas.....	40
Tabela 7 – Resultados do ensaio de consistência	53
Tabela 8 - Resultados das resistências à compressão.....	54
Tabela 9 - Resultados das resistências à compressão, das metades dos C.P's.....	55
Tabela 10 – Resultados das resistências à tração na flexão.....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 ÁREA E DELIMITAÇÃO DO TEMA	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
1.4 JUSTIFICATIVA	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Evolução histórica do concreto.....	14
2.2 Composição do concreto têxtil.....	16
2.2.1 Reforço de fibra têxtil	17
2.2.1.1 Tipos de fibras mais usuais	18
2.2.2 Matriz cimentícia	19
2.2.2.1 Propriedades do estado fresco	20
2.2.2.2 Propriedades do estado endurecido	20
2.3 Comportamento do concreto têxtil	20
2.3.1 Aderência entre as faces.....	20
2.3.2 Resistência a tração	22
2.3.3 Resistência a flexão.....	23
2.3.4 Resistência ao cisalhamento.....	24
2.3.5 Comportamento sob carregamento uniforme.....	25
2.3.6 Comportamento sob carregamento cíclico.....	26
2.4 Processo de produção	26
2.5 Aplicações	27
2.6 Elementos pré-fabricados para fachadas	29
2.6.1 Estruturação de painéis para fachadas	30
2.6.3 Apresentação da aplicação de painel de C.T. em fachadas	31
3 METODOLOGIA	34
3.1 Definição dos protótipos.....	34
3.1.1 Dimensão	34
3.1.2 Materiais.....	35
3.1.2.1 Malha têxtil de fibra de vidro.....	35
3.1.2.2 Cimento CP V – ARI.....	36
3.1.2.3 Sílica ativa	37
3.1.2.4 Cinza volante.....	38
3.1.2.5 Areias, fina e média	38

3.1.2.6 Superplastificante policarboxilato	38
3.1.2.7 Água	39
3.1.2.2 Dosagem e processamento da matriz cimentícia	39
3.1.2.2.1 Ensaio da matriz cimentícia no estado fresco	41
3.1.2.2.2 Ensaio da matriz cimentícia no estado endurecido	44
3.1.3 Fôrmas	45
3.2 Confeção dos protótipos	46
3.2.1 Posicionamento da malha têxtil.....	47
3.2.2 Concretagem, cura e desforma.....	48
3.2.4 Ensaio do compósito	50
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	52
4.1 Avaliação da matriz cimentícia no estado fresco	52
4.2 Avaliação da matriz cimentícia no estado endurecido	53
4.2.1 Resistência à compressão	53
4.2.2 Resistência à tração na flexão.....	56
4.3 Avaliação do comportamento na flexão à 4 pontos no compósito.....	57
4.4 Análise da aplicabilidade dos painéis têxteis em fachadas	60
5 CONCLUSÃO.....	63
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	64
REFERÊNCIAS	65
ANEXOS A – RELATÓRIO DO ENSAIO À TRAÇÃO NA FLEXÃO DA PLACA 01.	68
ANEXOS B – RELATÓRIO DO ENSAIO À TRAÇÃO NA FLEXÃO DA PLACA 02.	69

1 INTRODUÇÃO

O estudo da ciência dos materiais é de fundamental importância na Engenharia Civil, sem o mesmo não seríamos capazes de projetar estruturas de forma rigorosa e precisa, ficando totalmente reféns do empirismo. É nesse contexto que o advento de novas propostas e tecnologias de materiais como o concreto têxtil (CT) traz evolução para a sociedade como um todo (MORASSUTTI, 2016.).

Na busca de uma solução para os problemas historicamente comprovados do concreto armado convencional é que se iniciaram as pesquisas de novos materiais que pudessem ser utilizados como uma alternativa. Nos anos 1980 estudava-se a possibilidade de substituir barras de aço por fibras contínuas, sendo este método o que viria a ser denominado de concreto têxtil ao final dos anos 90 (NAAMAN, 2010, p. 3 apud DENARDI, 2016).

Além de busca por materiais alternativos, devido aos problemas comprovados com o concreto armado convencional, também se faz necessário investigar diferentes métodos construtivos que sejam capazes de serem industrializados, para reduzir-se a necessidade de mão de obra em campo, garantindo assim, a racionalização construtiva. Portanto, o pré-fabricado é um instrumento de grande potencial neste setor.

Neste contexto, o presente trabalho traz a junção de duas tecnologias: a introdução de um dos materiais compósitos mais atuais, o concreto têxtil, com um dos métodos construtivos mais prósperos da construção civil, os elementos pré-fabricados. Tendo como objetivos principais a viabilidade técnica e econômica do produto desenvolvido, os painéis pré-fabricados para fachadas com concreto têxtil.

1.1 ÁREA E DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho de conclusão de curso será realizado na área da construção civil, direcionando os estudos para uma análise de concreto têxtil. A pesquisa será com ênfase em painéis para fachadas, buscando verificar o desempenho destes elementos.

1.2 OBJETIVOS

A seguir, serão apresentados os objetivos propostos no presente trabalho, sendo divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo do comportamento de painéis com concreto têxtil para fachadas, através do ensaio de flexão a 4 pontos do compósito.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Ajustar a dosagem dos materiais usados em outro estudo, para verificar a possibilidade de utilizar no presente estudo.
- Desenvolver um protótipo de painel de fachada de concreto têxtil;
- Verificar o comportamento mecânico à flexão do protótipo com concreto têxtil para fachadas;

1.4 JUSTIFICATIVA

Diante da busca incansável por novas tecnologias na construção civil que integrem materiais mais sustentáveis, econômicos, que atendam as diversas propriedades físico-mecânicas e que necessitem de pouca mão de obra especializada em campo, apresenta-se neste trabalho de conclusão de curso a contribuição para o desenvolvimento de novos elementos estruturais e estéticos para fachadas com materiais e métodos construtivos diferentes dos convencionais atualmente.

O concreto têxtil vem sendo pesquisado a algumas décadas e tem mostrado grande potencial para revolucionar a construção civil. Outra tecnologia que vem ganhando, cada vez mais, grande destaque, são as peças pré-fabricadas que tem como proposta não só a inovação do método construtivo, mas também de agilidade e precisão nas peças produzidas.

O concreto têxtil pode ser empregado na confecção de diversos elementos estruturais e reforços estruturais, garantindo assim maior flexibilidade nos projetos arquitetônicos. Além disso, ele torna-se mais econômico e sustentável, desde a sua fabricação até o momento de utilizá-lo em campo.

Diante dos problemas na construção civil relacionados ao concreto armado convencional. Este tipo de sistema construtivo necessita de bastante cuidado desde a concepção do projeto até a sua execução, para evitar problemas comuns, como por exemplo os ataques corrosivos nas armaduras os quais podem trazer grande prejuízo a toda edificação.

Buscando evitar problemas e inovar na área da construção civil, o concreto têxtil contribui tanto na prática quanto na teoria. Em questões práticas ele é capaz de eliminar a utilização do aço na confecção de elementos estruturais, reduzir a necessidade de cimento na confecção de peças estruturais, exclui a utilização de estruturas complementares como pilares e vigas de travamento da alvenaria, além de possuir um bom acabamento final em ambas as faces, dentre outras vantagens. Em questões teóricas, concreto têxtil é um material compósito que alia a boa resistência à compressão do concreto à alta resistência à tração que o reforço de fibra têxtil possui, bom desempenho das propriedades mecânicas necessárias em edificações e infra-estruturas diversas.

Aliada a tecnologia do novo concreto, as peças pré-fabricadas tem como principais objetivos agregar agilidade, qualidade e precisão na produção de suas peças. Sendo assim, será analisada a possibilidade de produzir um novo elemento de fachada com função estrutural e estética, com a integração destas tecnologias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão abordados alguns tópicos referentes ao concreto têxtil, realizando uma breve contextualização do concreto têxtil frente ao concreto convencional, descrevendo os principais materiais constituintes, apresentando as principais propriedades físico-mecânicas, descrevendo o processo produtivo e por fim demonstrando as potencialidades de aplicação do concreto têxtil com ênfase em elementos pré-fabricados para fachada.

2.1 Evolução histórica do concreto

Antes de abordar a síntese sobre a evolução do concreto, é importante ter um breve conhecimento sobre seu principal componente: o cimento.

O cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Após endurecer, o cimento conversa sua estrutura, mesmo que entre em contato com a água novamente (PAWLICKA; FRESQUI; TRSIC, 2013).

Segundo Pawlicka, Fresqui, Trsic (2013), em 1824 o construtor inglês Joseph Aspdin queimou simultaneamente pedras calcárias e argila, e observou que a mistura rígida tinha aparência semelhante as rochas da ilha britânica de Portland, sendo assim, ele denominou o material como: cimento Portland.

O concreto, de acordo com Pawlicka, Fresqui, Trsic (2013), trata-se da mistura de argamassa (mistura de cimento, água e areia) com pedras de diâmetros maiores ou iguais a 2,5 cm. Este compósito é um dos materiais mais empregados na construção civil, devido suas boas propriedades físicas-mecânicas necessárias em elementos construtivos.

Como lembra Nunes (2012), pode-se adicionar no concreto diferentes tipos de reforços afim de aumentar a resistência mecânica à tração. Estes reforços podem ser de materiais como: bambu, aço, vidro, polietileno, têxteis entre outros. O reforço mais usual é o de armaduras de aço, o qual denominamos tradicionalmente como sendo concreto armado.

O concreto armado para Pawlicka, Fresqui, Trsic (2013), é a denominação de concreto com estrutura metálica, já para Porto (2015) concreto armado é a associação de concreto, que tem boa resistência a compressão, com materiais que apresentem alta resistência a tração, como por exemplo armaduras de aço.

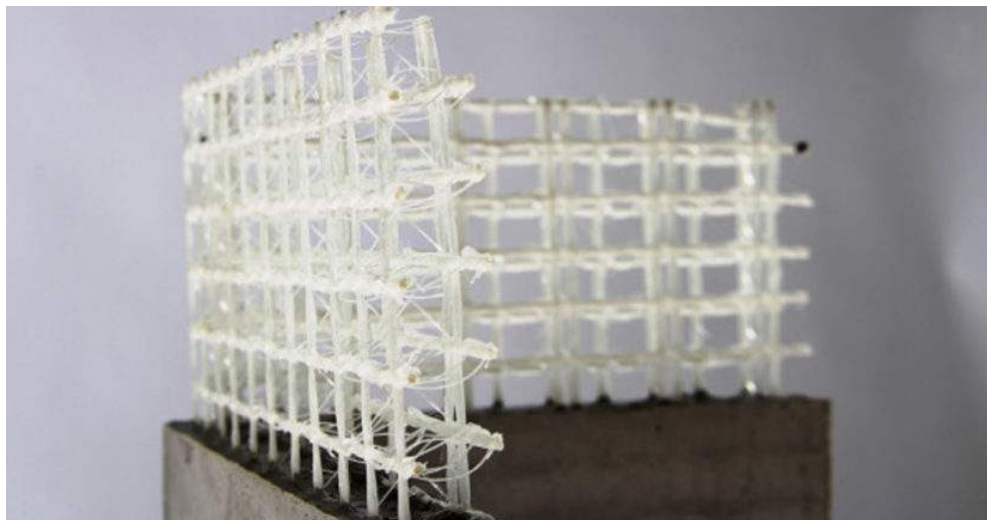
De acordo com Scheerer, Schladitz, Curbach (2015) nas últimas décadas, tenta-se encontrar diferentes maneiras para substituir o aço do concreto armado convencional, devido a suscetibilidade a corrosão que este material pode sofrer.

Com o intuito de aprimorar a composição do concreto para utilização em elementos estruturais e substituir a armação de aço, por volta de 1980, na Alemanha, já foram registradas as primeiras patentes que empregaram têxteis como reforço do concreto. Mas só nos anos 90 que a ideia do emprego de têxteis ganhou mais força para utiliza-lo nas construções e até mesmo em outros setores como por exemplo o moveleiro (SCHEERER; SCHLADITZ; CURBACH, 2015).

A população mundial, nos últimos 100 anos, aumentou de 1,5 para 6 bilhões de habitantes e quase 3 bilhões vivem na área urbana. Estima-se que o consumo de concreto no planeta é de aproximadamente 11 bilhões de toneladas por ano (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

Diante da crescente demanda por concreto no planeta, da preocupação na redução dos impactos ambientais relacionados a construção civil e a preocupação da introdução de novas tecnologias afim de aumentar as características físicas-mecânicas dos materiais, pode-se concluir que o concreto têxtil tem grande potencial para substituir o concreto armado convencional. A Figura 1 demonstra as camadas do concreto têxtil, dando ênfase a fina espessura do concreto e a malha de fibra têxtil.

Figura 1 – Camadas do concreto têxtil



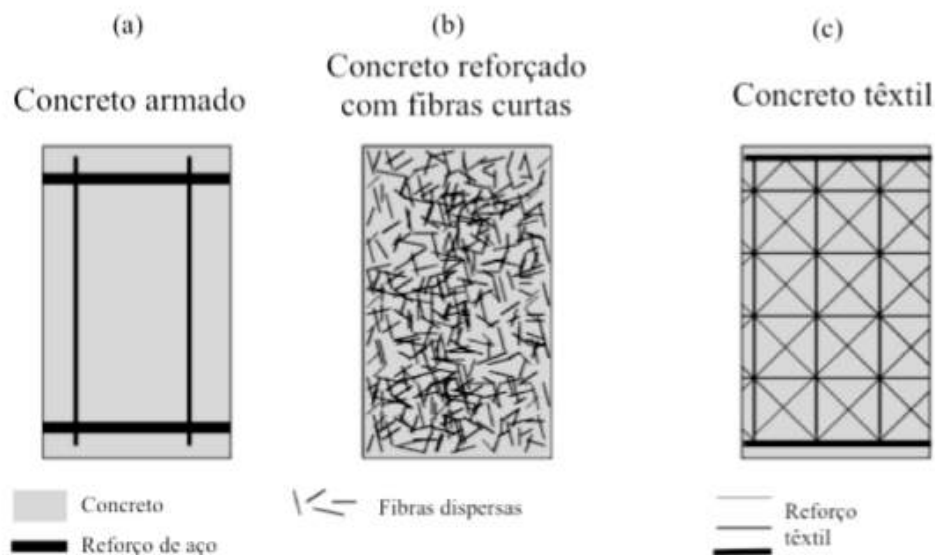
Fonte: Tetracon (2016).

2.2 Composição do 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 é composto, basicamente, por: matriz cimentícia (cimento, água e agregados) e malha têxtil bidimensional ou tridimensional. Além de aceitar aditivos comumente utilizados no concreto armado tradicional (GRIES, 2006 apud DENARDI,2016, p.29). As malhas têxteis geralmente são produzidas com fibra de vidro, carbono, aramida, polipropileno (PP), polietileno de alta densidade (HDPE) ou de polietileno (PE), conforme pode ser visto na Figura 1 que representa o sistema de reforço para os diferentes tipos de concreto (HEGGER, 2006 apud DENARDI,2016, p.28).

Figura 2 – Sistema de reforço para concreto: (a) concreto armado convencional, (b) concreto reforçado com fibras dispersas e (c) concreto têxtil



Fonte: Hegger (2006).

Nos próximos itens serão abordadas uma breve revisão sobre a fibra têxtil e a matriz cimentícia, responsáveis pela composição básica do concreto têxtil.

2.2.1 Reforço de fibra têxtil

Um dos materiais desta composição que merece destaque é a fibra têxtil que tem como objetivo principal substituir o aço por fibras têxteis, quando comparado ao concreto armado. Esses materiais podem ser fabricados com fibras artificiais ou naturais, e com diferentes geometrias, desde que obedeçam a algumas condições para que se tenha ou supere o desempenho necessário de um concreto estrutural (MORASSUTTI, 2016, p.22).

A fibra têxtil a ser utilizada no concreto têxtil deve cumprir alguns requisitos para o bom desempenho do material compósito como elemento estrutural, como por exemplo possuir um módulo de elasticidade maior do que o da matriz do concreto, para que a estrutura mantenha a rigidez quando ocorre o processo de fissuração. O material também deve ser resistente ao meio alcalino (matriz cimentícia) que ficará exposto durante toda sua vida útil, possuir uma baixa relaxação enquanto suporta os carregamentos permanentes, ter uma boa e constante aderência com a matriz e, se possível, ter um custo baixo e um processo de fabricação simplificado (MORASSUTTI,2016, p.22).

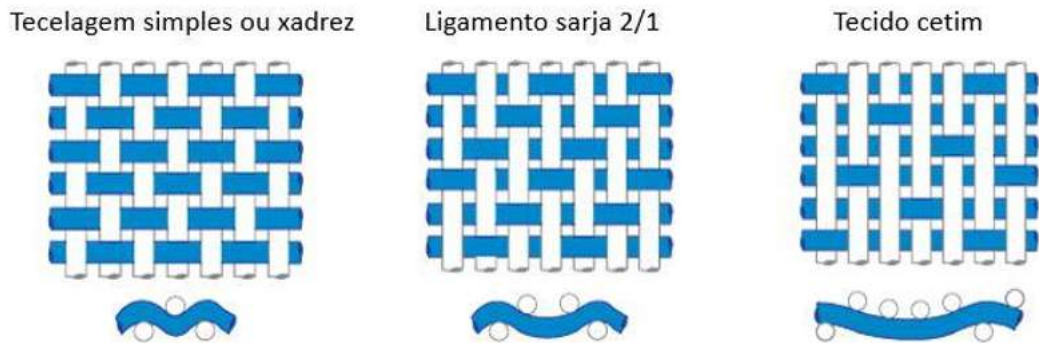
As geometrias desses reforços têxteis podem ser de diferentes maneiras, sendo as mais comuns: de tela, malha ou tecido entrelaçado. No caso das telas, visto na Figura 1, as camadas são dispostas em diferentes orientações das fibras, formando um reforço multi-axial. As malhas, Figura 1, são parecidas com as telas diferindo-se na orientação das fibras que são dispostas perpendicular a fibra principal. Os tecidos entrelaçados por sua vez, cada camada pode ser um padrão diferente conforme pode ser observado na Figura 1 (HEGGER, 2006 apud MORASSUTTI,2016, p.26).

Figura 3 – Fibra têxtil em formato de tela ou malha



Fonte: Hegger (2006).

Figura 4 - Fibra têxtil entrelaçada



Fonte: Hegger (2006).

A seguir serão apresentados os materiais fibrosos mais utilizadas atualmente na confecção do concreto têxtil, abordando sua composição e propriedades típicas.

2.2.1.1 Tipos de fibras mais usuais

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 ao longo da vida útil da edificação que contara com esta nova tecnologia construtiva. Se seguir serão citadas as três fibras mais estudadas na atualidade.

A fibra de vidro (vidro AR) tem seus fios projetados especificamente para resistir ao ambiente corrosivo do concreto devido ao seu meio alcalino, sendo incorporado em seus fios mais de 15% (massa) de zircão. Além do vidro AR, o vidro Z com adição de dióxido de silício e óxido de zircão, demonstraram resistência a corrosão do cimento (GRIES; OFFERMANN; PELED, 2006).

As fibras de carbono mais atuais possuem alta resistência a tração, sendo compostas de poliacrilonitrila. Existem boas perspectivas quanto as propriedades como por exemplo, baixa expansão, vibração, condutividade térmica e densidade, alta resistência a meios agressivos, porém a aderência ao concreto não é tão boa quanto a do vidro AR (GRIES; OFFERMANN; PELED, 2006).

A fibra de aramida que são compostas por poliamidas sintéticas de cadeia longa, apresenta excelente resistência a tração e modulo de elasticidade, densidade e fragilidade menores quando comparada as demais já citadas, porém sofre com expansão térmica entre o concreto e a fibra, além de não ter uma boa resistência a meios alcalinos (GRIES; OFFERMANN; PELED, 2006).

Há diversas vantagens de reforçar o concreto com material fibroso, desde que o posicionamento seja de fácil reprodução, econômico e com boas características essenciais aos elementos estruturais (GRIES; OFFERMANN; PELED, 2006).

2.2.2 Matriz cimentícia

Conforme Brameshuber, Brockmann (2006) a matriz cimentícia deve ter sua composição química compatível com o reforço têxtil para se ter uma aderência adequada sem perder suas propriedades básicas que auxiliam na eficiência do conjunto, além de ter um processo de produção ajustado a necessidade deste tipo de concreto.

Como lembra Brameshuber, Brockmann (2006) a matriz pode ser composta por base mineral utilizando em sua estruturação cimento Portland, areia e aditivos pozolânicos. Assim como também, a matriz pode ser confeccionada com outros tipos de cimentos ou com polímeros modificados. De um modo geral, a composição da matriz cimentícia requer misturas específicas para atender, de forma satisfatória, a aplicação a qual será empregada.

Ao definirmos a composição da mistura, é essencial selecionarmos um material que possa penetrar no tecido. De acordo com Brameshuber, Brockmann (2006), citado por Denardi (2016, p.19) no que diz respeito aos agregados constituintes neste tipo de concreto,

A matriz do concreto têxtil precisa ter um tamanho de grão do agregado muito pequeno (geralmente < 4 mm) para que o concreto penetre a malha de reforço. Assim, a matriz assemelha-se a uma argamassa. No entanto, essa argamassa possui propriedades mecânicas de alta performance e por este motivo é chamada de concreto fino ou concreto de agregado fino.

Basicamente, o concreto fino tem maiores deformações e menor rigidez do que o concreto armado tradicional. (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2006 apud MORASSUTTI, 2016, p.22).

Quanto aos aditivos e traços usados, o autor Brameshuber, Brockmann (2006), citado por Nora (2018, p.44) destaca que,

Os aditivos e traços utilizados, além de dependerem do tecido e suas características também dependem da forma de aplicação do CT. Para alguns usos, como estrutural, devem ser mais fluídos, para reforços, provavelmente mais plásticos. Podem ser utilizados superplastificantes, metacaulim, sílica ativa, cinza volante, estabilizantes, etc., de forma a tornar a execução mais fácil e melhorar propriedades.

Para se ter uma ideia mais concreta do que foi mencionado anteriormente, ao empregar a tecnologia do concreto têxtil em reforços estruturais por exemplo, deve-se analisar com critério concretos de finas granulometrias que apresentem módulo de Young menores e deformações

maiores que concretos convencionais, afim de obter-se a mesma resistência à compressão (BRAMESHUBER; BROCKMANN, 2006 apud NORA,2018, p.44).

A seguir será exposta uma breve explanação sobre as propriedades do concreto em seus diferentes estágios, que podem ser analisadas neste concreto.

2.2.2.1 Propriedades do estado fresco

No estado fresco pode-se adotar as mesmas técnicas utilizadas em argamassas para caracterizar os concretos finos, desde que o método abranja os estados de trabalhabilidade, fluidez, densidade e quantidade de ar contida no volume (DENARDI,2016, p.21).

2.2.2.2 Propriedades do estado endurecido

No estado endurecido pode-se realizar diversos ensaios para a caracterização das propriedades do concreto este estado, tais como: resistência a compressão e flexão, módulo de Young, carbonatação, retração, curva de tensão-deformação e alcalinidade (DENARDI,2016, p.21).

2.3 Comportamento do concreto têxtil

Neste tópico serão apresentados, brevemente, os estudos sobre as propriedades do concreto têxtil quando solicitado à esforços de tração e flexão, e o comportamento da aderência entre malha-cimento.

2.3.1 Aderência entre as faces

No concreto têxtil a aderência entre as faces diferencia-se do concreto armado usual. Os reforços estruturais com produtos têxteis apresentam superfícies lisas e formam vínculo apenas por adesão e atrito, já os reforços estruturais com barras possuem superfícies onduladas promovendo aderência mecânica (KULAS, 2013 apud ARAUJO,2019, p.48).

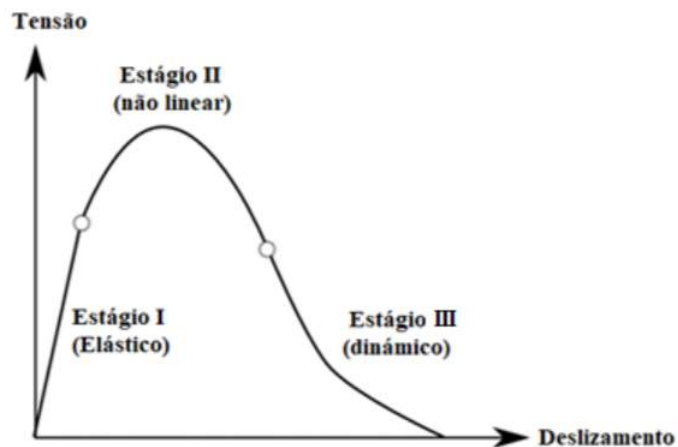
Para melhorar a aderência entre concreto-malha realizou-se diferentes estudos de aperfeiçoamento, capazes de impedir o deslizamento entre as fibras internas e externas. O processo de impregnação, realizado por pesquisadores influentes nesta área, destacou-se, pois

comprovou um aumento considerável na aderência concreto-malha (XU, 2004; BÜTTNER, 2008; SCHEFFLER, 2008 e HARTIG, 2008 apud ARAUJO, 2019, p.49).

O processo de impregnação permite que os fios do elemento têxtil, tenham completa ativação que resulta no aumento da força de arrancamento e melhor na uniformidade da distribuição de tensões. Basicamente o processo de impregnação se dá pela passagem da malha ou fio em um reservatório repleto de líquido polimérico e em seguida é retirado o excesso de líquido através da pressão desencadeado por rolos mecânicos, para finalmente ocorrer a cura da malha a 160 °C de temperatura (PORTAL,2015 apud ARAUJO,2019, P.50).

No que diz respeito aos mecanismos de transferência de tensão entre o elemento têxtil e o material cimentício, são obtidos através de ensaio de arrancamento e pode-se ter como resposta padrão para este tipo de ensaio conforme a Figura 5 (Richter, 2002; Mobasher, 2012 apud ARAUJO, 2019, p.50).

Figura 5 – Comportamento padrão ensaio de arrancamento



Fonte: Araujo (2019).

Os pesquisadores dividiram o comportamento em três regiões de acordo com o tipo de aderência predominante. Os autores Richter (2002) e Mobasher (2012), citado por Araujo (2019, p.51) destacam que:

- a) estágio I: resposta linear, o que representa aderência perfeita entre concretomalha. Nessa região a aderência por adesão é a predominante;
- b) estágio II: nesse ponto inicia-se o sucessivo rompimento da adesão com o concreto a partir dos filamentos externos. Inicia-se a mudança do mecanismo de aderência predominante, havendo redução da contribuição da adesão e o aumento da parcela de atrito;
- c) estágio III: os filamentos apresentam deslizamento em relação ao concreto e o mecanismo de aderência predominante é o atrito.

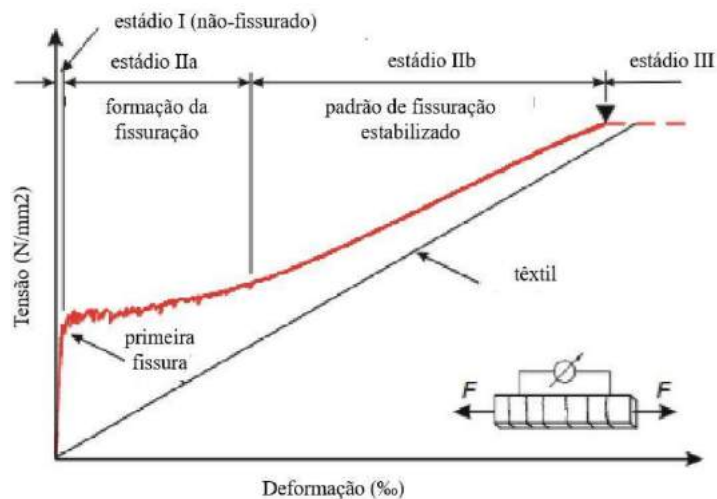
Ainda para contribuir na aderência entre os elementos, constatou-se que tecidos com geometrias não lineares, tricotados, torcidos e transpassados, melhoram a aderência. E deve-se

ter cuidado com itens que contenham látex em sua composição, pois tendem a diminuir a aderência entre concreto-malha (KULAS, 2013 apud ARAUJO,2019, p.48).

2.3.2 Resistência a tração

Segundo Jesse (2005), Molter (2005), Voss (2008) e Kulas (2013) o concreto têxtil quando submetido a ensaio de tração uniaxial, possui três estados físicos até o rompimento do compósito conforme Figura 6. É importante destacar que, diferente do concreto armado tradicional, o concreto têxtil não apresenta o estado de plastificação do material de reforço. Assim o compósito concreto-malha tem comportamento frágil, devido à má aderência do conjunto.

Figura 6 - Gráfico tensão-deformação



Fonte: Morassutti (2016).

Quanto aos três estágios do comportamento à tração, os autores Jesse (2005), Molter (2005), Voss (2008) e Kulas (2013), citado por Araujo (2019, p.54) conclui que,

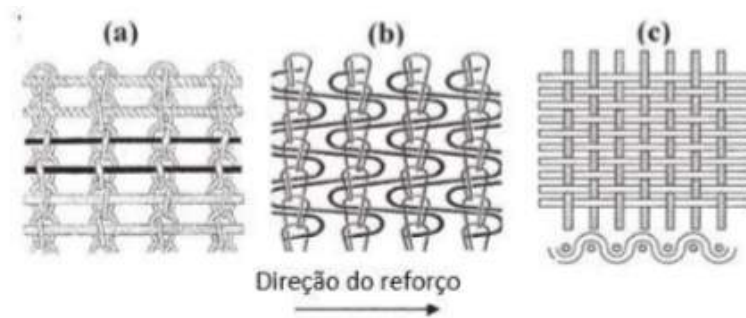
- estádio I: Região onde o concreto ainda não iniciou o processo de fissuração. Apesar de haver em quase sua totalidade comportamento linear, destaca-se que, próximo da transição para o estágio IIa, ocorre uma região de não-linearidade;
- estádio IIa: Nesta etapa inicia-se e desenvolve-se o processo de fissuração do concreto;
- estádio IIb: Na última etapa ocorre a estabilização da fissuração do concreto e o rompimento do elemento estrutural.

2.3.3 Resistência a flexão

O comportamento a flexão do compósito é influenciado pela geometria do reforço (malha, tela ou tecidos entrelaçados). Além disso, quando submetido a esforços de flexão, possui similaridade ao desempenho a tração citado no item anterior (Kruger,2004; Molter,2005; Voss,2008; Kulas, 2013 apud Araujo,2019, p.57).

Para Peled e Bentur (2004) a geometria do reforço, além de aumentar a aderência entre o conjunto concreto-malha, quando se aumenta a quantidade de fios na direção do reforço consequentemente há um aumento na resistência a flexão do concreto têxtil, como pode ser visto na Figura 7.

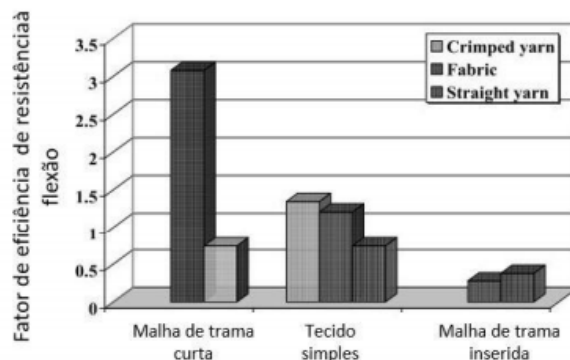
Figura 7 - Direção do reforço



Fonte: Peled;Bentur (2004)

Para Peled e Bentur (2004) as geometrias não lineares tendem a ter uma melhor ancoragem na matriz cimentícia o que consequentemente aumenta a resistência a flexão, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Diferentes geometrias têxteis



Fonte: Peled;Bentur (2004)

2.3.4 Resistência ao cisalhamento

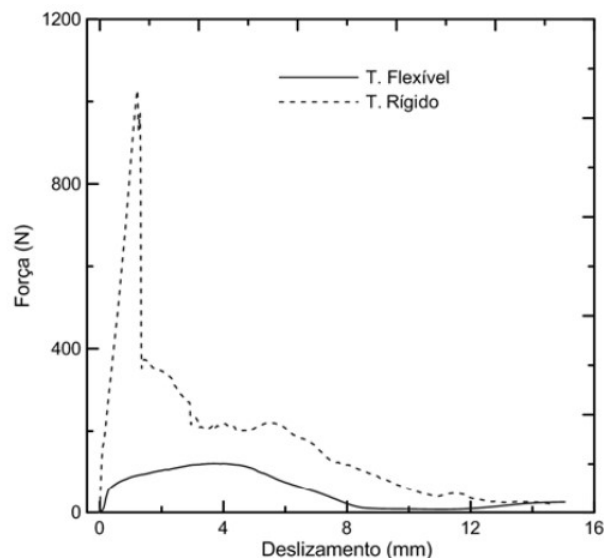
De uma forma geral, o desempenho de peças sob cisalhamento apresenta os mesmos estados de comportamento sob flexão. Ou seja, tem basicamente os mesmos estágios I, IIa e IIb que as propriedades mecânicas anteriormente citadas (Kruger,2004; Molter,2005; Voss,2008; Kulas, 2013 apud Araujo,2019, p.58).

Em um recente estudo analisou-se os diferentes comportamentos mecânicos de um concreto têxtil em aplicação estrutural, e observou-se especificamente no que diz respeito a análise de compressão, tendo o ensaio de arrancamento como meio de avaliação, que:

A partir da análise dos resultados obtidos, percebe-se que a tensão cisalhante máxima na interface tecido-matriz obtida do ensaio de arrancamento de um filamento do tecido de carbono rígido é até 5,91 vezes maior do que a obtida do ensaio de arrancamento de um filamento do tecido de carbono flexível. Isto indica que a aderência entre o tecido de carbono rígido e a matriz é melhor que a do tecido de carbono flexível, justificando o melhor desempenho dos compósitos reforçados com o tecido de carbono rígido na tração direta e na flexão. (SILVA, 2018, p.96).

A partir do estudo, anteriormente citado, pode-se concluir que dependendo da relação de aderência entre o tecido e a matriz é possível obter uma melhor ou pior resistência à compressão, devido a facilidade de deslizamento que o tecido pode apresentar, conforme representado na Figura 9 (SILVA,2018, p.96).

Figura 9 - Curvas típicas de força versus deslizamento. Comparação entre tecido de carbono flexível e tecido de carbono rígido, empregados em matriz cimentícia com mesma composição



Fonte: Silva (2018)

2.3.5 Comportamento sob carregamento uniforme

Segundo Kulas (2015) atualmente, o concreto têxtil já está sendo usado em novas construções e também para reforçar os elementos de construção existentes. Além de não serem suscetíveis à corrosão, os reforços de fibra de vidro e carbono se destacam, principalmente, por sua alta resistência até seis vezes maior em comparação ao aço de reforço de concreto.

A capacidade de carga da malha têxtil pode ser até 50% menor do que do filamento (HEGGER, 2006). Os mecanismos de falha do concreto têxtil ainda não são completamente compreendidos, porém sabe-se que diversos fatores influenciam na capacidade de carga do compósito (HEGGER, 2006).

Pode-se destacar alguns fatores que tem influência nas questões de carregamento de acordo com Hegger (2006 apud DENARDI,2016, p.64), como por exemplo:

- a) imprecisão das propriedades das fibras (principalmente a resistência dos filamentos e diâmetro do filamento (ou carga máxima do filamento) em um certo ponto);
- b) dano dos filamentos durante as várias etapas da produção (fabricação dos têxteis, produção do compósito);
- c) propriedades da aderência entre filamento-filamento (dependente das impregnações, geometria dos fios, pressão de confinamento/transversal);
- d) propriedades da aderência entre fios-matriz (dependente das impregnações, composição da matriz, geometria dos fios, idade do compósito, histórico de carregamento);
- e) ajuste dos filamentos (dependendo da qualidade do fio, produção do tecido, tecnologia do concreto);
- f) orientação das fibras (ângulo entre as fibras e o carregamento);

Segundo Kulas, GmbH (2015) e Peled, Bentur (2000), citado por Denardi (2016) nas questões relacionadas aos filamentos e capacidade de carregamento:

Apenas os filamentos exteriores do feixe absorvem o carregamento. Os filamentos de núcleo, por permanecerem livres de deformação e por oferecerem uma penetração limitada da matriz de cimento entre os filamentos, resulta em um fator de carga de apenas 30 a 35% para os fios, independentemente da sua natureza (filme, feixe ou filamento único).

Para Hegger (2006) a aderência dos feixes tem grande interferência na definição da capacidade de carregamento do concreto têxtil. Isso se dá, pela falta de homogeneidade da seção transversal. Portanto é preciso levar em consideração a interação de centenas de filamentos, não apenas na seção.

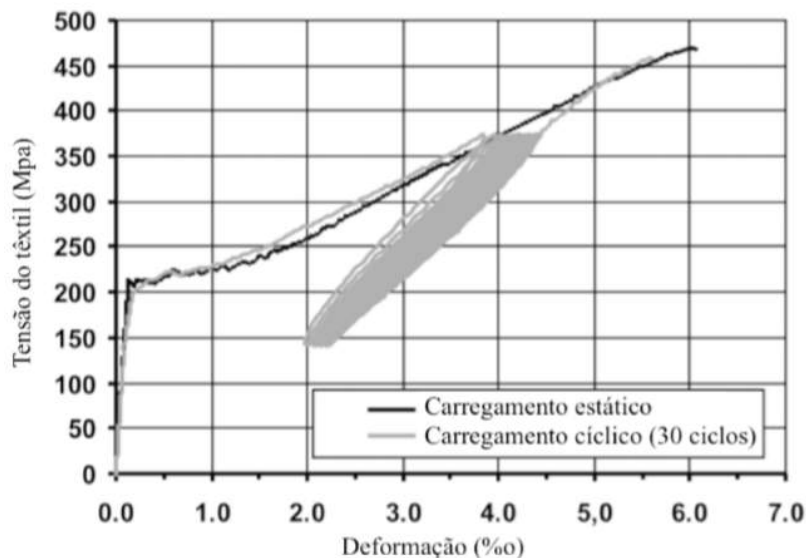
Do ponto de vista geral das condições de capacidade de carregamento, de acordo com Hegger (2006, p.180):

As qualidades mecânicas do TRC ainda não são conhecidas. O comportamento de carga do TRC é influenciado pelo material, quantidade e orientação do reforço têxtil, bem como pela matriz de concreto fino. As pesquisas experimentais sistemáticas devem fornecer mais informações para verificar e otimizar os modelos em cada nível.

2.3.6 Comportamento sob carregamento cíclico

Quando submetido a carregamentos cíclicos verificou-se que, há aumento na deformação no elemento estudado. As possíveis causas, para a crescente deformação durante os ciclos, podem ter influência da falha dos filamentos únicos, assim como do deslocamento progressivo dos filamentos. Apesar disso, nota-se que após a concretização dos ciclos de carregamento, os elementos submetidos a tração demonstram o mesmo comportamento de elementos que foram submetidos a carregamentos uniformes até a sua falha, conforme pode ser visto na Figura 10 (HEGGER; VOSS, 2008 apud DENARDI, 2016 p.65).

Figura 10 - Curvas com carregamento cíclico e uniforme



Fonte: Denardi (2016)

2.4 Processo de produção

De acordo com os estudos de Peled (2006), o processo de produção do concreto têxtil precisa ser sistematizado com a estrutura do tecido e do fio para se obter eficiência na aderência do compósito. Na sequência serão apresentados alguns processos estudados pelos pesquisadores Peled e Scheerer.

O processo de pultrusão mostra ser um método de produção bastante eficaz para empregar no conjunto matriz-tecido, pois tem produção simples e de baixo custo com maquinários. Basicamente, durante este processo são impregnados reforços contínuos por uma matriz fresca

e puxados por cilindros rotatórios sob pressão, removendo o excesso de matriz cimentícia e criando um laminado de tecido compósito (PELED, 2006).

O método a vácuo demonstra ser um procedimento que reduz as vantagens gerais do sistema. Com o auxílio de misturador estacionário, a matriz cimentícia é produzida, em duas camadas, e ainda em estado fresco levada a uma câmara a vácuo e uma mistura adicional é realizada sob vácuo por 2 minutos. Após isso, entre as camadas cimentícias é colocado o reforço têxtil tracionado a aproximadamente 1,7 N para manter o tecido paralelo ao eixo longitudinal durante 24h (PELED, 2006).

A produção por meio de moldagem é realizada praticamente por uma camada de tecido centralizada no meio da matriz cimentícia ao longo do elemento (PELED, 2006).

Na fabricação por laminação são intercaladas camadas da matriz cimentícia de granulometria reduzida e reforço têxtil, até que seja alcançado a geometria desejada do elemento (SCHEERER, 2015).

De modo geral, Segundo Peled (2006) a escolha do processo de produção depende da mistura, forma, tamanho e aplicação do elemento. Basicamente a característica principal de um processo de produção para este novo tipo de concreto, tem por finalidade unir a matriz cimentícia e o reforço têxtil. As técnicas manuais são mais utilizadas para testes em laboratórios e técnicas mais complexas são usadas para criação na prática de elementos estruturais em série, mas sempre com embasamento nas técnicas manuais ou então combinando técnicas manuais com técnicas mais avançadas.

2.5 Aplicações

Por ser um compósito relativamente novo, ainda carece de normativas brasileiras ou de outros países que tratem de dimensionamento de estruturas. Por conta disto, é necessário fazer uma avaliação mais minuciosa das aplicações do concreto têxtil. Através das vantagens que este tipo de compósito está mostrando nas pesquisas, podemos ter uma noção um pouco melhor sobre suas aplicações. Sendo assim, conforme os estudos estão avançando, podemos destacar algumas vantagens que o concreto têxtil está proporcionando na construção civil (KULAS, 2015 apud DENARDI,2016, p.78).

- Capacidade de adaptar-se a diferentes formas;
- Maior flexibilidade nos projetos arquitetônicos;
- Elevação das propriedades mecânicas necessárias em elementos estruturais;

- Eliminação das armaduras de aço, conseqüentemente exclui-se o risco de ataques corrosivos principalmente em ambientes agressivos (marítimos, subterrâneos e expostos a poluição constante)
- Economia no consumo de insumos, como: diminuição do consumo de cimento, areia, aditivos e água, devido a minimização das seções dos elementos estruturais;
- Contribuição na sustentabilidade, pois reduz a necessidade de utilizar grandes volumes de agregados e aditivos. Proporcionando menores prejuízos na extração dos agregados e na emissão de poluentes atmosféricos presentes no processo de fabricação dos insumos;
- Otimização da mão de obra em campo;
- Utilização em diversos tipos de elementos pré-fabricados com seções reduzidas;
- Utilização na fabricação de móveis;
- Bom desempenho nas propriedades físicas (boa resistência ao fogo, a influências atmosféricas, a choques e a vibrações);

Tendo conhecimento destas vantagens, o campo de aplicação torna-se amplo para se fazer diversas explorações. Atualmente os campos de exploração, são: sistemas ventilados de fachadas; paredes sanduíches; garagens, estações de transformadores; unidades de estocagem; pontes (novas e manutenções); lajes de sacadas e varandas; elementos de construção com exposição à cloretos, etc (KULAS, 2015 apud DENARDI,2016, p.79).

Nas Figura 1 e Figura 12, são representados de forma real elementos que foram desenvolvimentos a partir do concreto têxtil.

Figura 11 - Concreto têxtil utilizado em móveis



Fonte: textilia.net (2015)

Figura 12 - Concreto têxtil utilizado em fachadas



Fonte: Hegger (2006)

De acordo com diversas pesquisas nacionais e internacionais a principal desvantagem do compósito se dá pelo custo inicial da fibra (KULAS, 2015 apud DENARDI, 2016, p.79).

2.6 Elementos pré-fabricados para fachadas

No Brasil, nos anos 70, os painéis pré-fabricados de concreto tiveram suas primeiras aplicações, mas eles só ganharam popularização nos anos 90. O sistema tem se mostrado com grande potencial ao longo dos anos, pois permite que as especificações dos projetos arquitetônicos sejam mais racionais, práticas e tecnológicas (CIOCCHU, 2003 apud LOURENSINI, 2017, p.22).

Além da crescente demanda por painéis pré-fabricadas, outro fato importante que merece destaque no cenário da construção civil brasileira é o atendimento a norma ABNT NBR 15575/2013, Norma de Desempenho de Edificações, onde estabelece requisitos e critérios de desempenho quanto a área de segurança, habitabilidade e sustentabilidade (LORENZI; LORENZI; KLEIN, 2019, p.1).

Para Revel (1973, p.457) o termo pré-fabricação na área da construção civil tem o seguinte significado: “fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra”.

A norma NBR 9062 (ABNT, 2017) - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado define estrutura pré-fabricada como:

Elemento pré-moldado executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, ou em instalações permanentes de empresa destinada para este fim que atende aos requisitos mínimos de mão-de-obra qualificada; a matéria-prima dos elementos pré-fabricados deve ser ensaiada e testada quando no recebimento pela empresa e previamente à sua utilização. (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2017).

Segundo Acker (2002), citado por Lourensini (2017, p.23), no que diz respeito aos tipos dos elementos pré-fabricados para fachadas,

os painéis em si podem ser do tipo estrutural ou somente de vedação. As fachadas formadas por painel estrutural possuem função dupla, decorativa e estrutural. Elas devem suportar todas as cargas provenientes dos pavimentos e dos painéis superiores. Esse sistema é economicamente viável uma vez que é dispensável o uso de estrutura constituída por pilares e vigas. Além disso a construção fica protegida internamente desde o início da obra.

2.6.1 Estruturação de painéis para fachadas

Em estudos recentes a utilização de painéis de concreto armado pré-fabricados para fachadas tem como objetivo analisar o comportamento estrutural entre painel e a laje, através de ensaios experimentais em laboratórios e em campo. Os resultados da avaliação, de modo geral, foram satisfatórios e oportuniza o aperfeiçoamento de mais estudos nesta linha da construção civil (LORENZI; LORENZI; KLEIN, 2019, p.1).

No que diz respeito as dimensões dos painéis, existe variações de acordo com a seu emprego e solicitações. Conforme Acker (2002), citado por Lourensini (2017, p.24):

As dimensões dos painéis variam de acordo com sua aplicação e solicitações feitas por normas. A espessura depende dos requisitos para atender o desempenho de estabilidade estrutural, térmico, acústico e de resistência ao fogo. O comprimento por sua vez é definido pelas dimensões exigidas em projeto, mas o projetista deve levar em consideração os equipamentos para produção, a questão de transporte entre a fábrica e o canteiro de obras e os equipamentos para montagem dos painéis no empreendimento.

Acker (2002) disponibiliza em seu Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto uma tabela contendo as principais dimensões utilizadas para fabricação dos painéis, de acordo com a Figura 13.

Figura 13 - Dimensões usuais de painéis para fachadas em concreto armado

Aplicação	Espessura (mm)	Comprimento máximo (m)	Altura (m)
Painéis estruturais: ▪ com lajes armadas em duas direções ▪ com lajes armadas em uma direção	180 – 240 150 – 200	6.00 – 14.00	3.00 – 4.50
Painéis não-estruturais:	80 – 150 (180)	6.00 – 14.00	3.00 – 3.30
Poços de elevador e de escada:	180 – 200	6.00 – 14.00	3.00 – 4.00

Fonte: Acker (2002)

Quanto aos requisitos para fabricação, conforme Acker (2002), citado por Lourensini (2017, p.28):

A NBR 16475 (ABNT, 2017) é responsável por estabelecer requisitos e procedimentos que devem ser atendidos no projeto, produção e montagem dos painéis de parede pré-moldados.

A partir destes estudos e normatizações realizados com painéis de concreto armado pré-fabricados para fachadas é possível utiliza-los como ponto de partida para painéis de concreto têxtil.

2.6.3 Apresentação da aplicação de painel de C.T. em fachadas

Como demonstrado por Kulas (2015), um exemplo de aplicação na prática é uma parede de cortina ventilada que foi instalada no centro de saúde e educação (GEBIZ) da empresa Groz-Beckert em Albstadt, conforme Figura 1.

Figura 14 - Fachada-cortina ventilada, Albstadt



Fonte: Kulas (2015)

Conforme mostrado em Kulas (2015), o resultado é uma construção de fachada com paredes extremamente finas, com apenas 20 mm de espessura, aprovada para cargas de vento de até 2,2 kN / m². A arquitetura da fachada pode exigir uma aparência com um número reduzido de juntas em comparação com lajes de pequeno formato.

Pode-se citar como exemplo o edifício de restaurante na paisagem do parque “SchieferErlebnis”, inaugurado em 2014 em Dormettingen, o qual possui uma área total de aproximadamente 400 m² de fachada de concreto têxtil, conforme Figura 15. As paredes de cortina ventilada de possuem dimensões de elementos de até 1,5 m x 4,1 m e uma espessura de

50 mm. Como reforço têxtil foi utilizado o Soligrig Q140-CEP-38 de carbono impregnado de resina epóxi. Uma força de 200 a 230 kN / m (valor nominal) por metro em movimento pode ser absorvida pelo reforço, que corresponde aproximadamente à capacidade de carga de uma esteira de aço de reforço de concreto convencional (KULAS, 2015)

Figura 15 – Fachada-cortina ventilada SchieferErlebnis, Dormettingen



Fonte: Kulas (2015)

De acordo com os diversos tipos de aplicações do concreto têxtil em estruturas pré-fabricadas, Kulas (2015) destaca que com os reforços têxteis de alto desempenho, o ramo da construção tem à sua disposição materiais adequados para a construção de elementos de construção de concreto fino e leve que conservam recursos e exibem simultaneamente alta permanência.

Kulas (2015) informa que até o momento, na Alemanha, o emprego de elementos de construção feitos de concreto têxtil para artificios de suporte de carga só é possível com a aprovação caso a caso ou com a aprovação geral das autoridades de construção. É por isso que o Solidian está trabalhando em três aprovações gerais de autoridade predial para as quais as solicitações foram submetidas ao Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). Uma delas é para elementos sanduíche com concreto têxtil de malha de vidro AR com espessura de 30 mm e treliça deslizante não metálica para a conexão entre as folhas interna e externa. Essa treliça deslizante reduz a ponte térmica.

Segundo Kulas (2015) o pedido de aprovação é para uma garagem feita de artefatos pré-fabricados com espessuras de parede e teto entre 40 e 60 mm. A principal motivação para este pedido, foi a redução de peso do elemento que resulta em um peso de apenas 11 toneladas, para que duas garagens possam ser transportadas em um veículo de transporte sem permissão

especial. Também está sendo processado um pedido de passarelas para pedestres e pontes para bicicletas com um vão máximo de 20 m, totalmente isento de aço. Mais uma vez, a redução de peso possibilita o uso de componentes pré-fabricados na construção. Em particular, a troca rápida de pontes antigas e novas é permitida quando novas estruturas são construídas para substituir pontes municipais antigas.

3 METODOLOGIA

Com base na pesquisa bibliográfica desenvolvida, realizaram-se análises experimentais e sobre a aplicabilidade de painéis de concreto têxtil em fachadas. Foram moldados e ensaiados 2 protótipos de painéis onde aplicou-se uma malha de fibra de vidro como reforço estrutural a fim de apurar algumas propriedades mecânicas da peça submetida aos esforços de flexão, nas idades entre 7 dias. Importante ressaltar que os ensaios dos corpos de provas prismáticos foram realizados na idade de 8 dias, devido a logística necessária para a realização dos ensaios e restrições da utilização do laboratório, além dos atrasos na entrega de alguns materiais em virtude da pandemia.

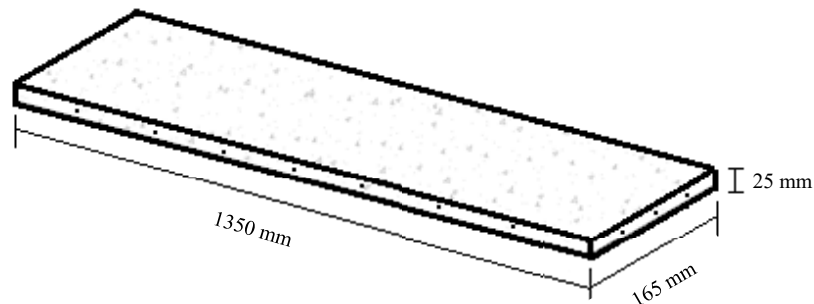
3.1 Definição dos protótipos

Os protótipos foram produzidos com base no estudo desenvolvido por Brameshuber et al. (2006) e na dissertação de pós-graduação da autora Giese (2019), respeitando as limitações dos laboratórios da universidade.

3.1.1 Dimensão

As dimensões dos protótipos foram definidas a partir das limitações dos equipamentos disponíveis em laboratório. E do embasamento em um dos protótipos desenvolvidos por Brameshuber et al. (2006), porém com fator de redução, ou seja, na escala 1:2 em relação as dimensões da peça original, tanto na largura quanto no comprimento. Assim, se estabeleceu os painéis com 165 mm de largura, 1350 mm de comprimento e 25 mm de altura, conforme Figura 16.

Figura 16 – Dimensões do protótipo com reforço estrutural



Fonte: Autora (2020).

3.1.2 Materiais

Os materiais que foram utilizados para a fabricação dos protótipos são basicamente conhecidos na construção civil, porém alguns deles são poucos utilizados tradicionalmente no Brasil. São eles:

- Cimento CP V;
- Areia Fina;
- Areia Média;
- Água;
- Malha têxtil de fibra de vidro;
- Superplastificante policarboxilato;
- Cinza volante;
- Sílica ativa;

Com exceção da malha têxtil, os demais materiais foram empregados para a confecção da matriz cimentícia.

3.1.2.1 Malha têxtil de fibra de vidro

Giese (2019) realizou uma ampla pesquisa dos materiais têxteis, para aplicação em concreto têxtil, buscando as seguintes características:

- Existência da proteção álcali resistente;
- Abertura da malha maior do que 0,5 cm;
- Fabricação nacional;
- Peso por unidade de área;
- Resistência à tração.

A partir disso Giese (2019), verificou duas empresas nacionais que fabricam as malhas têxteis. De acordo com a pesquisadora, a fabricante escolhida tem seus têxteis produzidos diretamente com fibra de vidro AR, ou seja, esse tipo de fibra é projetado especificamente para uso em concretos, argamassas, estuques, revestimentos, texturas e tintas. Além disso, os requisitos anteriormente listados também foram preenchidos. Sendo assim, no presente trabalho adotamos o modelo AR-360-RA-04 de uma empresa nacional, Figura 17 e aprovamos as especificações técnicas, Tabela 01.

Figura 17 – Amostra do modelo AR-360-RS-04

Fonte: Autora (2020).

Tabela 1 – Propriedades da malha AR-360-RA-04

Modelo	Peso (g/m ²)	Resistência à tração		Resistência à tração normalizados		Abertura da malha (mmXmm)	Espessura (mm)
		Urdume (kgf/cm)	Trama (kgf/cm)	Urdume (N/5cm)	Trama (N/5cm)		
AR-360- RA-04	360	54	54	2700	2700	14 x 14	1,15

Fonte: Adaptado do fabricante (2020).

Ainda de acordo com Giese (2019), a quantidade de camadas de têxtil para fabricação do compósito, geralmente varia entre 1 e 6 camadas de têxteis, independente da aplicação. Desta forma, no presente trabalho empregou-se apenas 1 têxtil a 1cm da base do painel, por julgarmos ser a pior situação, ser executável no laboratório e com um possível processo produtivo facilitado para emprego em fabricas de estruturas pré-fabricadas, atendendo assim, a indústria 4.0 que vem tanto se falando nos últimos anos.

3.1.2.2 Cimento CP V – ARI

O cimento Portland do tipo CP V – ARI é constituído em sua maioria por silicatos de cálcio hidráulicos. Tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias de aplicação. Isso se dá, pela dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer e pelo processo produtivo do cimento, com grãos de espessuras mais finas. A Tabela 02, apresenta as algumas características do cimento utilizado.

Tabela 2 – Características do cimento CP V - ARI

Característica	Resultados
Tempo de pega inicial	≥ 60 min
Resistência à compressão 24h	≥ 30 MPa
Massa específica	3,09 g/cm ³

Fonte: Adaptado de InterCement (2020).

3.1.2.3 Sílica ativa

A sílica ativa, também conhecida como sílica fume ou microsíllica, é um mineral de silício metálico ou ferro silício decorrente dos resíduos de processos metalúrgicos. Por possuir um aspecto muito fino, grãos com certa de 50 a 100 vezes menores que os grãos de cimento, ela auxilia no preenchimento dos interstícios do concreto e conseqüentemente reduz a necessidade de cimento, tornando-o menos permeável, com menor probabilidade de exsudação e com excelente tixotropia e resistência. Além disso, pode ser considerado um material ecologicamente correto, pois evita o descarte no meio ambiente. Para fazer a sua ativação como aglomerante, ele precisa da presença da água com o hidróxido de cálcio do cimento, produzindo assim, um material cimentício chamado de silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

A sílica ativa empregada no trabalho, possui informações, advindas do fornecedor, das características físicas e químicas, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Características da sílica ativa 920 D

Característica	Resultados
Densidade	>350 kg/m ³
Teor de SiO ₂	$\geq 85\%$
Teor de H ₂ O	$\leq 3\%$
Formato da partícula	Esférica
Diâmetro médio da partícula	$>0,45$ μ m

Fonte: Adaptado de Elkem (2020).

3.1.2.4 Cinza volante

A cinza volante, é um mineral composto por silício, alumínio, e baixos teores de Fe, Mg, Ca, Ti, P, S, Na e K produzidos a partir da queima de carvão mineral de usinas termoeletricas. Tem basicamente os mesmos benefícios da sílica ativa para o concreto, ambos são materiais ditos pozolânicos. Este material tem como objetivo, diminuir o consumo do cimento e melhorar as propriedades da microestrutural.

A cinza volante utilizada no trabalho é oriunda da cidade de Guaíba – RS, na região Metropolitana de Porto Alegre – RS. Possui diâmetro médio de 23,5 μm e massa específica de 2,18 g/cm^3 .

3.1.2.5 Areias, fina e média

Foram utilizados dois tipos de agregados miúdos na realização dos estudos, areia média e areia fina.

As características granulométricas dos agregados miúdos estão expostas na Tabela 04, com o respectivo método de ensaio normalizado. As composições granulométricas estão apresentadas graficamente na tabela, onde os valores obtidos são comparados com os limites da NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 4 – Características dos agregados miúdos

Característica	Método de ensaio	Areia média	Areia fina
Massa específica (g/cm^3)	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,60	2,63
Massa unitária (g/cm^3)	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,70	1,98

Fonte: Autora (2020).

Apenas a areia média foi refinada na peneira 1,18mm para garantir que a granulometria máxima, diâmetro máximo de 1,2 mm, não fosse ultrapassada.

3.1.2.6 Superplastificante policarboxilato

O aditivo superplastificante tem como objetivo alto poder de redução de água utilizada no concreto, desenvolve um material autonivelante, aumenta a fluidez e coesão da mistura,

proporcionando concretos de alto desempenho. Também é isento de cloretos. O aditivo utilizado neste trabalho, é o Tec-Flow 8000, conforme Tabela 05.

Tabela 5 – Características do Superplastificante Tec-Flow 8000

Característica	Resultados
Aspecto	Líquido
Cor	Alaranjada
Dosagem recomendada	0,3 a 2%
Massa específica	1,080 – 1,120 g/cm ³

Fonte: Adaptado de GCP Applied Technologies (2020).

3.1.2.7 Água

A água, é proveniente da rede de abastecimento da universidade e empregada no trabalho a temperatura ambiente.

3.1.2.2 Dosagem e processamento da matriz cimentícia

A dosagem da matriz cimentícia foi selecionada com embasamento na mistura PZ-0899-01 SFB 532 do autor Brameshuber et al. (2006).

A escolha desta mistura foi em virtude da aplicabilidade do projeto, dela ser usada como referência para o desenvolvimento de outras misturas e, além disso, preencher os quesitos essenciais que o compósito necessita, como: compatibilidade química com o reforço têxtil, consistência adequada para total penetração da matriz cimentícia no reforço têxtil, processo de produção e boas propriedades mecânicas. Essa mistura, em especial, foi desenvolvida para aprimorar o desempenho de durabilidade do compósito.

Porém alguns ajustes na dosagem foram necessários, após a reprodução da matriz cimentícia no estado fresco não apresentarem os requisitos estipulados pelo autor já citado.

O ajuste na dosagem da mistura original, deu-se pela diferença na qualidade de alguns materiais aplicados neste estudo em analogia ao referido autor. Uma comparação entre a matriz cimentícia apresentada por Brameshuber et al. (2006) e a mistura adaptada para o presente estudo, está apresentada na Tabela 06.

Tabela 6 – Dosagem das misturas

Material	Dosagem de referência		Dosagem alterada	
	Unidade de medida	Quantidade	Unidade de medida	Quantidade
Cimento CP V - ARI	Kg/m ³	490	Kg/m ³	595
Sílica Ativa	Kg/m ³	35	Kg/m ³	35
Cinza Volante	Kg/m ³	175	Kg/m ³	70
Água	g	280	g	210
Areia Fina	Kg/m ³	500	Kg/m ³	500
Areia Média	Kg/m ³	715	Kg/m ³	715
Superplastificante policarboxilato GCP TecFlow 8000	% em massa de aglutinante	1,5	% em massa de aglutinante	2

Fonte: Autora (2020).

Os materiais que sofreram alterações foram: cimento, cinza volante, água e o plastificante. O cimento foi aumentado em 21,5% e o plastificante teve aumento de 35%, já a cinza volante foi reduzida em 60% e a água teve abatimento de 25%.

O concreto foi produzido em um misturador do tipo planetário, de acordo com os seguintes passos:

- i. os materiais aglomerantes, cimento, cinza volante e sílica ativa, foram misturados em velocidade baixa (125 rpm) por um minuto;
- ii. foi adicionada 70% da quantidade total de água nessa mistura, em velocidade baixa (125 rpm) por um minuto;
- iii. na sequência, foi acrescentado 70% do superplastificante na mistura, em velocidade baixa (125 rpm) por um minuto;
- iv. adicionou-se o restante da água, durante um minuto, na velocidade baixa (125 rpm) e em seguida na velocidade alta (450rpm);
- v. foi acrescentada a metade das areias, fina e média, na velocidade baixa (125 rpm) por um minuto;
- vi. adicionou-se o restante do superplastificante, na velocidade baixa (125 rpm) por um minuto;

- vii. por último foi adicionado o restante das areias, fina e média, na velocidade baixa (125 rpm) e em seguida na velocidade alta (450 rpm) por três minutos, até a concreto ficar homogênea.

Após a mistura estar pronta, foram realizados ensaios da matriz cimentícia no estado fresco e moldados corpos de prova, cilíndricos e prismáticos, para a avaliação no estado endurecido.

Para a avaliação no estado fresco, foi utilizado o método do índice de consistência normalizado pela NBR 7215 (ABNT, 1997) que permite avaliar rapidamente se a dosagem da matriz cimentícia está adequada.

Já para a avaliação no estado endurecido, foram utilizados dois métodos para a determinação da resistência à compressão e um método para a determinação da resistência à tração na flexão. Ambas as determinações, foram realizadas nas idades entre 7 e 8 dias devido a logística necessária para a realização dos ensaios neste estado.

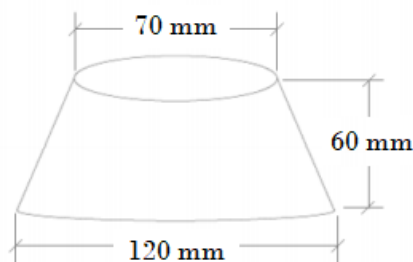
Para a resistência à compressão, foram seguidos os ensaios da NBR 7215 (ABNT, 1997), com corpos de provas cilíndricos de 50x100 mm e foram adotados os ensaios da NBR 13279 (ABNT, 2005), com corpos de provas prismáticos de 40x40x160 mm. E para a definição da resistência à tração na flexão, dos corpos prismáticos, seguiram-se as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005).

3.1.2.2.1 Ensaio da matriz cimentícia no estado fresco

Para garantir que a dosagem da matriz cimentícia fosse satisfatória, foi empregado o ensaio do índice de consistência de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1997).

Para o ensaio, foi utilizada uma superfície plana e lisa e um molde de formato tronco cônico, cujas dimensões podem ser vistas na Figura 18.

Figura 18 – Molde tronco cônico



Fonte: Silva (2018).

A matriz foi produzida como descrito no item 3.1.2.2. Após isso, despejou-se a mistura no molde cônico até a borda. Em seguida, foi retirado o molde de forma lenta e o mais vertical possível, deixando a mistura livre para se espalhar sobre a superfície. Posteriormente, a mistura estabilizou-se sendo possível medir os diâmetros ortogonais dela com auxílio de uma trena (escala 1:100).

A primeira dosagem feita para a matriz cimentícia, foi seguida conforme a composição proposta por Brameshuber et al. (2006). Porém ela, não apresentou o aspecto fluido e nem resultados próximos a 350 mm de espalhamento, conforme a norma NBR 7215 (ABNT, 1997). O aspecto da mistura pode ser visto na Figura 19. Então, logo descartou-se a mistura e refez-se o traço com algumas alterações na água, superplastificante, cimento e cinza volante.

Figura 19 – Aspecto da primeira dosagem



Fonte: Autora (2020).

Com as modificações realizadas, foi possível aperfeiçoar a matriz cimentícia e deixando-a com valores de consistência próximos de 350 mm. Na Figura 20 é apresentada as etapas do ensaio de índice de consistência, além do aspecto final da mistura ajustada.

Figura 20 – Etapas do ensaio de espalhamento: (a) molde preenchido; (b) medição do primeiro diâmetro; (c) medição do segundo diâmetro

(a)



(b)



(c)



Fonte: Autora (2020).

Desta forma, a segunda dosagem apresentou uma consistência ideal e resultados de espalhamento muito próximos de 350 mm, preenchendo assim os requisitos impostos pela norma nesta etapa, podendo ser visto seu aspecto na Figura 20. Com isso, é possível ter uma

garantia maior que a mistura irá atingir boas propriedades mecânicas e o procedimento pode ser continuado com esta matriz cimentícia, fazendo-se os ensaios no estado endurecido e moldando os painéis já com a fibra de vidro para posterior rompimento. Os resultados, em “x” e em “y” das matrizes na placa 1 e na placa 2, serão apresentados na Tabela 2 do item 3.3.1.

3.1.2.2.2 Ensaio da matriz cimentícia no estado endurecido

Seguindo o que normalmente as bibliografias recomendam para a determinação das propriedades mecânicas da matriz cimentícia no estado endurecido, foram utilizados dois métodos para a determinação da resistência à compressão e um método para a determinação da resistência à tração na flexão. Ambas as determinações, foram realizadas nas idades entre 7 e 8 dias devido a logística necessária para a realização dos ensaios neste estado. Não foi possível fazer os testes da mistura em mais idades, devido os atrasos na entrega dos materiais e restrições na utilização do laboratório da universidade.

Para a resistência à compressão, foram seguidos os seguintes ensaios: da NBR 7215 (ABNT, 1997), para os corpos de provas cilíndricos de 50x100 mm e da NBR 13279 (ABNT,2005), para os corpos de provas prismáticos de 40x40 mm de lado e 160mm de comprimento.

Na posterior obtenção dos valores das resistências à compressão, serão utilizadas a seguinte equação, conforme norma:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

onde:

R_c = é a resistência à compressão, em megapascals;

F_c = é a carga máxima aplicada, em newtons;

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40x40mm, em milímetros quadrados.

E para a definição da resistência à tração na flexão, dos corpos prismáticos, seguiram-se as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005).

Na futura obtenção dos valores das resistências à tração na flexão, serão utilizadas a seguinte equação, conforme norma:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3}$$

onde:

R_f = é a resistência à tração na flexão, em megapascals;

F_f = é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L = é a distância entre os suportes, em milímetros;

Para tal, os ensaios de compressão foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos, EMIC GR048 com capacidade máxima de 300 kN.

Foram moldados 4 corpos de provas cilindros e 3 prismáticos. Decorridos, 24h, após a moldagem, os corpos de provas foram desmoldados e realizado o processo de cura submersa em água até o rompimento. Na figura 21, podemos analisar os corpos de provas moldados.

Devido às limitações impostas atualmente, não foi possível fazer os testes da mistura em mais idades.

Figura 21 – Corpos de provas, cilíndricos e prismáticos, em seus moldes

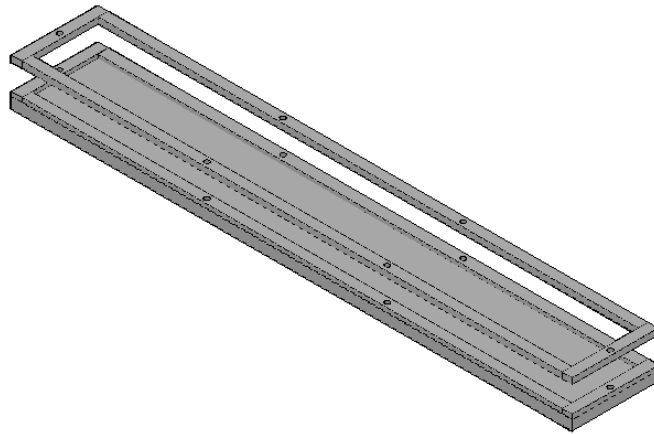


Fonte: Autora (2020).

3.1.3 Fôrmas

As montagens das fôrmas dos painéis foram feitas com chapas de compensado tendo o auxílio de trena, serra tico-tico e de parafusos para fixação das chapas e malha têxtil. As medidas internas do protótipo foram preservadas, 165 mm de largura, 1350 mm de comprimento e 25 mm de altura. Sendo assim, as fôrmas foram fabricadas em 2 peças para posterior conexão, conforme Figura 22.

Figura 22 – Fôrma



Fonte: Autora (2020)

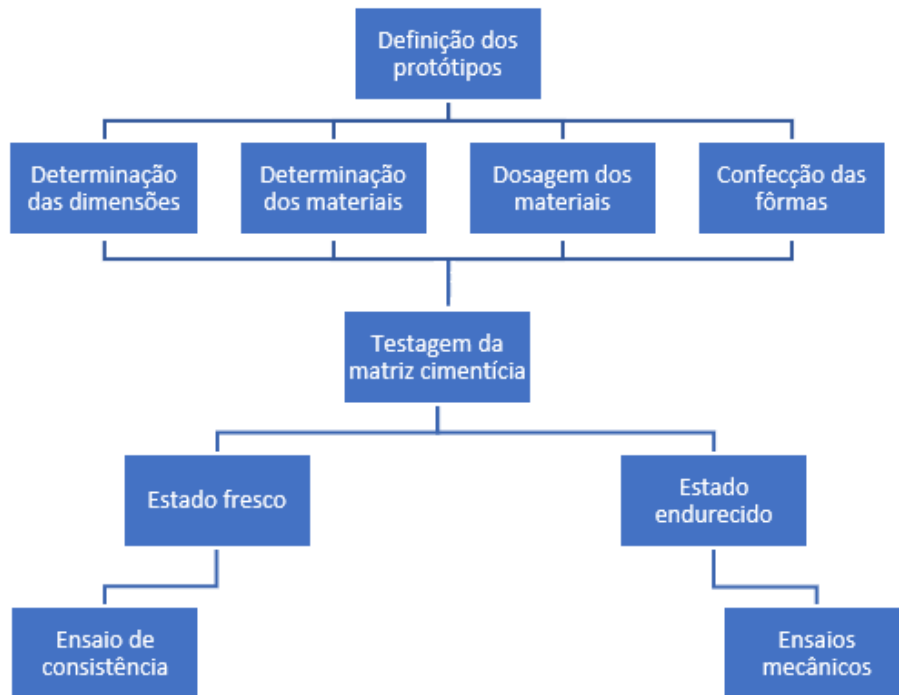
Após a conclusão das definições do protótipo como: dimensões, materiais, ensaios e fôrmas, será possível seguir com as etapas subsequentes para a confecção dos painéis.

3.2 Confeção dos protótipos

A confecção dos protótipos em laboratório só foi iniciada com o término da definição dos materiais, dimensões, ensaios e fôrmas que seriam utilizados, além da aprovação das testagens da matriz cimentícia. As etapas dos procedimentos, anteriormente concluídos para a continuidade do trabalho, estão representadas no fluxograma abaixo, conforme Figura 23.

As sequências para as confecções dos painéis seguem a seguinte ordem: Concretagem, cura, desforma e aplicação de ensaios de flexão a 4 pontos até a total ruptura do compósito.

Figura 23 – Fluxograma dos procedimentos



Fonte: Autora (2020)

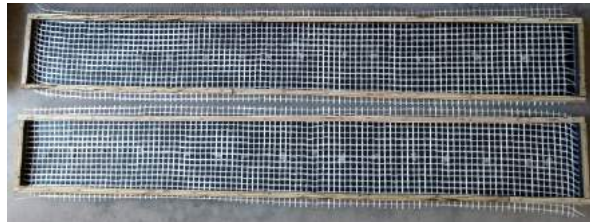
Nas seguintes etapas serão expostas o passo a passo da confecção dos painéis com possível aplicabilidade nas fachadas de edificações.

3.2.1 Posicionamento da malha têxtil

A malha têxtil foi posicionada a 1 cm da base da fôrma. Após isso, a parte superior da fôrma, com altura de 1,5 cm, foi fixada com ajuda de pregos para auxiliar na fixação da malha e evitar deslocamentos da mesma ao derramar a matriz cimentícia na fôrma.

Desta forma, a malha têxtil foi posicionada mais na parte inferior do composto a fim de melhor aproveitamento da altura útil, proporcionando maiores ganhos relativo ao comportamento à flexão. Na Figura 24, é apresentada a fôrma justamente com a malha têxtil utilizada.

Figura 24 – Posicionamento da malha têxtil na fôrma



Fonte: Autora (2020)

3.2.2 Concretagem, cura e desforma

Na concretagem calculou-se, aproximadamente, o volume de concreto necessário para cada painel e seus respectivos corpos de provas. Após a mistura estar finalizada, os painéis foram moldados cuidadosamente aos poucos. Os painéis foram curados sem água, pois o laboratório não tem reservatório de água que atendesse as dimensões deles. Na Figura 25, será demonstrada o aspecto final do compósito, após concretagem.

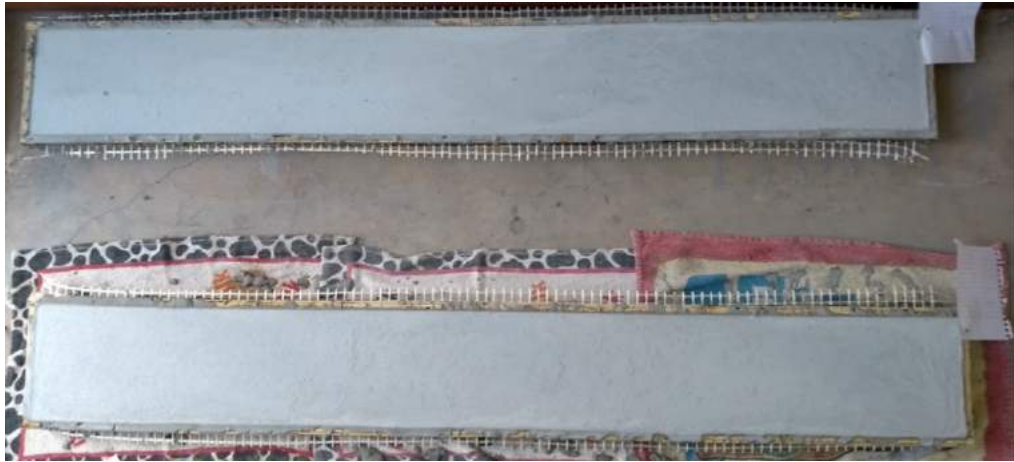
Figura 25 – Aspecto final do compósito, após concretagem



Fonte: Autora (2020)

Passados os 7 dias de cura, foi realizada a desforma e eliminada as sobras da malha têxtil dos painéis. Os aspectos das placas estão representados na Figura 26, 27 e 28.

Figura 26 – Aspecto final do compósito, após cura



Fonte: Autora (2020)

Figura 27 – Aspecto lateral do compósito, após desforma



Fonte: Autora (2020)

Figura 28 – Aspecto frontal do compósito, após desforma



Fonte: Autora (2020)

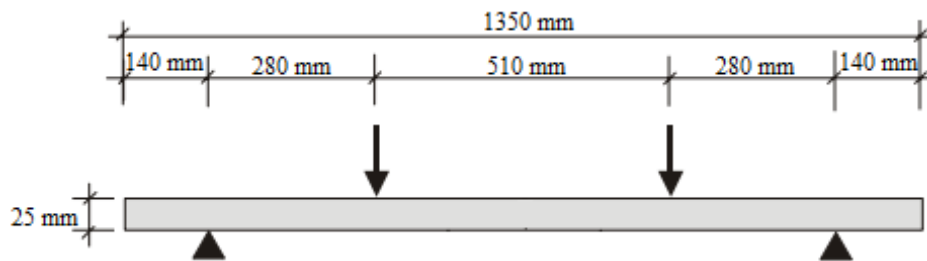
Como pode ser notado em todas as laterais do compósito, a malha de têxtil se manteve conforme projetada.

3.2.4 Ensaio do compósito

Para a caracterização do comportamento mecânico dos painéis, foram realizados ensaios de flexão a quatro pontos. Este ensaio, também é conhecido como Ensaio de Stuttgart que tem como objetivo compreender os mecanismos de ruptura, com e sem influência do cisalhamento, em determinados trechos do elemento estrutural.

O ensaio consiste em posicionar o painel sobre dois apoios, aplicar duas cargas pontuais simétricas gradativamente até os protótipos atingirem a ruptura, como pode ser visto na Figura 29. Importante ressaltar que este ensaio foi embasado na literatura do autor Brameshuber et al. (2006).

Figura 29 – Ensaio de flexão a 4 pontos



Fonte: Autora (2020).

Após posicionar cada painel conforme a figura acima, estabeleceu-se na máquina que a taxa de carregamento seria de 10 mm/min.

Iniciou-se o ensaio com a taxa de carregamento adotada até o equipamento concluir o procedimento. Desta forma, pode-se notar que surgiram algumas fissuras na parte inferior do concreto. O carregamento foi realizado até ocorrer o rompimento do compósito. Na Figura 30, podemos analisar as etapas do procedimento e comportamento de ambas as placas.

Analisando os compósitos visualmente, podemos notar um comportamento muito semelhante ao concreto armado convencional em elementos estruturais. No item 3.3.1.2, serão abordadas as análises realizadas em laboratório com seus respectivos resultados.

Figura 30 – Etapas do ensaio de flexão a 4 pontos: (a) posicionamento; (b) primeiras fissuras; (c) aspecto final, com a conclusão do ensaio; (d) compósito rompido

(a)



(b)



(c)



(d)



Fonte: Autora (2020).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste item, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para o concreto têxtil, com base nos experimentos realizados nos estados fresco e endurecido, tanto da matriz cimentícia quanto do compósito.

4.1 Avaliação da matriz cimentícia no estado fresco

A partir da definição dos materiais e da dosagem para a confecção dos protótipos, foi possível fazer as testagens das matrizes cimentícias através do ensaio do índice de consistência de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1997).

Como já mencionado anteriormente no item 3.1.2.2, a primeira dosagem exatamente embasada no autor Brameshuber et al. (2006) foi alterada devido seus resultados não terem atingido os requisitos recomendados pelo autor. Pode-se concluir que a primeira dosagem da matriz cimentícia não foi satisfatória, devido a qualidade dos materiais usados para este trabalho serem distintas dos materiais utilizados pelo autor

Por tanto foram alterados os seguintes materiais: cimento, cinza volante, água e o plastificante. O cimento foi aumentado em 21,5% e o plastificante teve aumento de 35%, já a cinza volante foi reduzida em 60% e a água teve abatimento de 25%.

As modificações foram realizadas devido a baixa coesão identificada na execução da mistura proposta pelo autor. Visto que a coesão de uma matriz cimentícia está ligada diretamente com a quantidade de cimento presente na mistura, foi optado em realizar uma substituição da parcela da cinza volante por cimento Portland, proporcionando uma melhor coesão entre as partículas. Ao mesmo tempo foi aumentado o consumo do aditivo superplastificante a fim de manter a fluidez da mistura.

Após conclusão das etapas do ensaio de espalhamento apresentadas no item 3.1.2.2.1, foi possível fazer a análise das matrizes cimentícias desenvolvidas. Levando em consideração, se os resultados dos ensaios ficariam próximos de 350 mm, avaliado nas direções ortogonais, como determinado pela NBR 7215 (ABNT, 1997).

Tanto a placa 1 quando a placa 2, tiveram resultados, em ambas direções, muito próximos do estabelecido, como pode ser observado na Tabela 07.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de consistência

Ensaio	Unidade de medida	Placa 1	Placa 2
Índice de consistência (espalhamento)	mm	$x = 360$ $y = 365$	$x = 344$ $y = 347$

Fonte: Autora (2020).

A partir da aprovação dos resultados obtidos neste ensaio, foi possível prosseguir com a sequência dos procedimentos experimentais.

4.2 Avaliação da matriz cimentícia no estado endurecido

A partir da aprovação da matriz cimentícia no estado fresco, foi possível fazer a determinação das resistências, à compressão e à tração na flexão, da matriz cimentícia conforme a NBR 7215 (ABNT, 1997) e a NBR 13279 (ABNT, 2005), no estado endurecido.

A Placa 01 e a Placa 02 foram ensaiadas na idade de 7 dias. Os corpos de provas prismáticos foram rompidos em 8 dias, devido a limitação logística e de execução dos ensaios, portanto houve uma diferença de 24 horas entre as rupturas, demais observações serão abordadas em cada uma das análises.

4.2.1 Resistência à compressão

Os corpos de provas cilíndricos foram submetidos ao ensaio de compressão, após serem primeiramente rompidos à resistência a flexão, conforme NBR 7215 (ABNT, 1997). Para cada mistura, foram rompidos 4 corpos de provas cilíndricos de 50 x 100 mm, na idade de 7 dias. De acordo com Brameshuber et al. (2006), as resistências à compressão para misturas a base de minerais variam de 32 a 98 MPa, na idade de 28 dias. Os resultados estão apresentados na Tabela 08.

Tabela 8 - Resultados das resistências à compressão

Corpos de Provas Cilíndricos – Placa 01		
Idade do concreto (dias)	Nomenclatura dos corpos de prova	Resistência à compressão (MPa)
7	C.P. 1	62,50
	C.P. 2	57,13
	C. P. 3	57,58
	C.P. 4	60,78
Média da resistência à compressão		59,50
Corpos de Provas Cilíndricos – Placa 02		
Idade do concreto (dias)	Nomenclatura dos corpos de prova	Resistência à compressão (MPa)
7	C.P. 1	49,10
	C.P. 2	48,77
	C. P. 3	51,07
	C.P. 4	49,80
Média da resistência à compressão		49,69

Fonte: Autora (2020).

O valor médio, da resistência à compressão, para a placa 01 foi de 59,50 MPa e para a placa 02 foi de 49,69 MPa. Apesar da diferença entre ambas resistências, podemos considerar que as matrizes cimentícias são de alto desempenho, chegando a resultados maiores que os obtidos por Brameshuber et al. (2006).

Os corpos de provas prismáticos foram submetidos ao ensaio de compressão, após serem primeiramente rompidos à resistência a flexão, conforme NBR 13279 (ABNT,2005). Para cada mistura, foram rompidos 3 corpos de provas prismáticos de 40x40 mm de lado e 160mm de comprimento, na idade de 8 dias, devido a limitação no horário de funcionamento do laboratório. Conforme Brameshuber et al. (2006), as resistências à compressão para misturas a base de minerais variam de 32 a 98 MPa, na idade de 28 dias. Os resultados estão apresentados na Tabela 09.

Tabela 9 - Resultados das resistências à compressão, das metades dos C.P's

Corpos de Provas Prismáticos – Placa 01		
Idade do concreto (dias)	Nomenclatura dos corpos de prova	Resistência à compressão (MPa)
8	C.P. 1	30,82
	C.P. 2	30,75
	C. P. 3	30,77
Média da resistência à compressão		30,78
Corpos de Provas Prismáticos – Placa 02		
Idade do concreto (dias)	Nomenclatura dos corpos de prova	Resistência à compressão (MPa)
8	C.P. 1	30,73
	C.P. 2	30,75
	C. P. 3	30,26
Média da resistência à compressão		30,58

Fonte: Autora (2020).

O valor médio, da resistência à compressão, para a placa 01 foi de 30,78 MPa e para placa 02 foi de 30,58 MPa, podemos considerar que as matrizes cimentícias são de alto desempenho, chegando a resultados muito próximo que os obtidos por Brameshuber et al. (2006) quando comparados a idade de referência pelo autor de 28 dias.

Pode ser observado que houve uma diferença entre a resistência à compressão determinada através dos corpos de provas cilíndricos se comparados aos corpos de provas prismáticos. Tal diferença é devido ao método de ensaio empregado, visto que os corpos de provas prismáticos, conforme NBR 13279 (ABNT,2005) é indicado para argamassa de revestimento.

Salienta-se que não houve diferenças da resistência à compressão entre os painéis, determinado através do método da NBR 13279 (ABNT,2005), sendo que as médias de cada painel ficaram próximas.

4.2.2 Resistência à tração na flexão

Os corpos de provas prismáticos foram submetidos ao ensaio para determinação da resistência à tração na flexão, conforme NBR 13279 (ABNT,2005), porém na idade de 8 dias em razão das restrições da utilização do laboratório. Para cada mistura, foram rompidos 3 corpos de provas cilíndricos 40 x 40 x 160 mm. Os resultados estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados das resistências à tração na flexão

Corpos de Provas Prismáticos – Placa 01		
Idade do concreto (dias)	Nomenclatura dos corpos de prova	Resistência à tração na flexão (MPa)
8	C.P. 1	7,27
	C.P. 2	4,92
	C. P. 3	6,30
Média da resistência à tração na flexão		6,16
Corpos de Provas Prismáticos – Placa 02		
Idade do concreto (dias)	Nomenclatura dos corpos de prova	Resistência à tração na flexão (MPa)
8	C.P. 1	6,15
	C.P. 2	6,49
	C. P. 3	5,86
Média da resistência à tração na flexão		6,17

Fonte: Autora (2020).

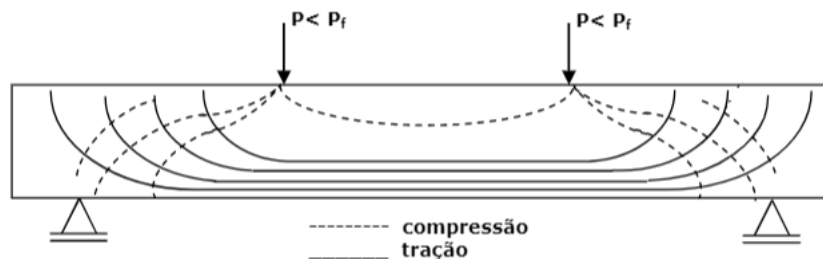
Calculando a resistência à tração na flexão, e fazendo a média desta resistência obteve-se para a placa 01 - 6,16 MPa e para a placa 02 - 6,17 MPa. Valores muito próximo dos experimentos realizados por Brameshuber et al. (2006) em 28 dias. Além disso, observa-se que não houve diferenças da resistência à tração na flexão entre os corpos de provas prismáticos, indicando que não houve influência nesse parâmetro pela diferença na idade de ruptura.

4.3 Avaliação do comportamento na flexão à 4 pontos no compósito.

O ensaio de flexão a 4 pontos, ou ensaio de Stuttgart, foram realizados na idade de 7 dias para a placa 01 e para a placa 02, com taxa de carregamento de 10 mm/min.

No início do carregamento, chamado estágio I, o compósito não apresentou fissuras, pois o esforço de tração foi totalmente absorvido pelo concreto, como pode ser visto na ilustração da Figura 31.

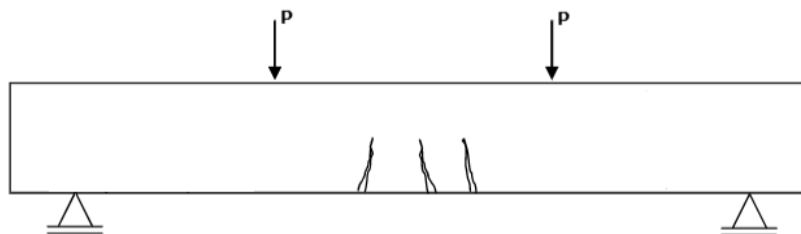
Figura 31 – Estádio I, elemento sem fissuras



Fonte: Chaer (2001).

Conforme foi-se aumentado o carregamento, pode-se notar que as primeiras fissuras verticais foram encontradas dentro do terço médio do vão, ou seja, entre as cargas aplicadas. Esta etapa é chamada de Estádio IIa, conforme Figura 32. A partir disso, conclui-se que, a tensão de ruptura à tração do concreto foi atingida e os esforços de tração passaram a serem absorvidos pela malha. A malha têxtil por sua vez, teve que ser capaz de resistir as cargas caso contrário o compósito romperia.

Figura 32 – Estádio IIa, elemento com fissuras verticais centralizadas

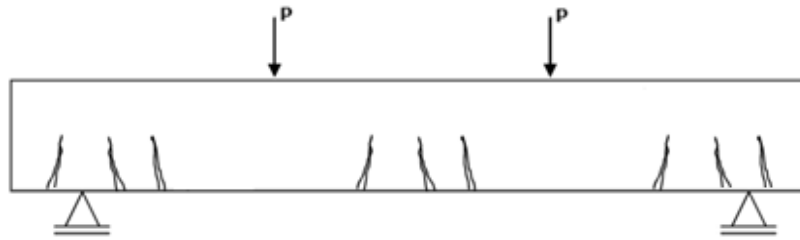


Fonte: Chaer (2001).

A medida em que as cargas foram aumentando, ocorreram rachaduras adicionais ao longo do compósito inclusive nas extremidades. Essas rachaduras nas extremidades não atingem a tensão de ruptura, mas forçam todo o elemento a trabalhar fissurado. Como essas rachaduras

ocorreram em intervalos aproximadamente regulares, pode-se que este ocorrido se dá, pela relação entre à geometria do tecido e à interface tecido-matriz. Quando o compósito estabilizou o aparecimento de mais trincas, esta etapa chama-se de Estádio IIb como pode ser vista na Figura 33.

Figura 33 – Estádio Ib, elemento com fissuras espalhadas pelo compósito



Fonte: Chaer (2001).

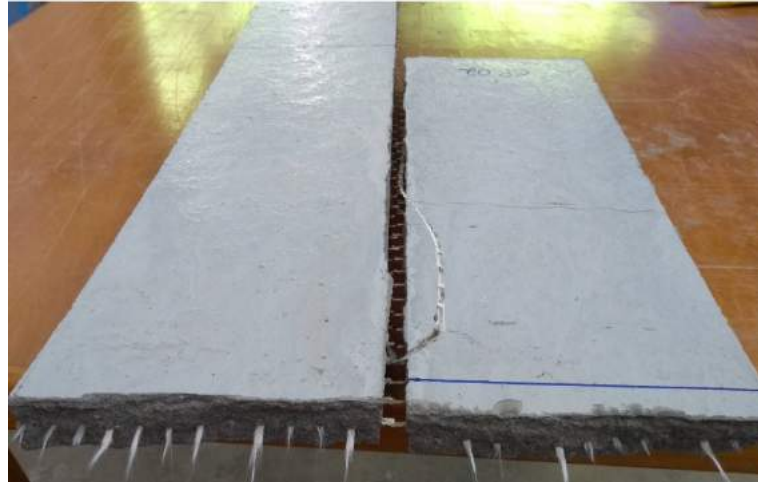
Quando houve o esgotamento de novas fissuras e as rachaduras existentes começaram a abrir mais, logo concluiu-se que o compósito poderia romper a qualquer momento, o chamado Estádio III. Isso acontece, pois a fibra de vidro AR, por não ser um material dúctil, ou seja, não ter capacidade plástica, iria romper o compósito sem ser visivelmente percebido seu esgotamento. Na Figura 34 e 35, pode-se verificar que o rompimento do compósito se deu verticalmente dentre o vão central de ambas as placas, caracterizando uma ruptura por flexão pura dita ruptura sem “aviso prévio”.

Figura 34 – Estádio III, ruptura da placa 01.



Fonte: Autora (2020).

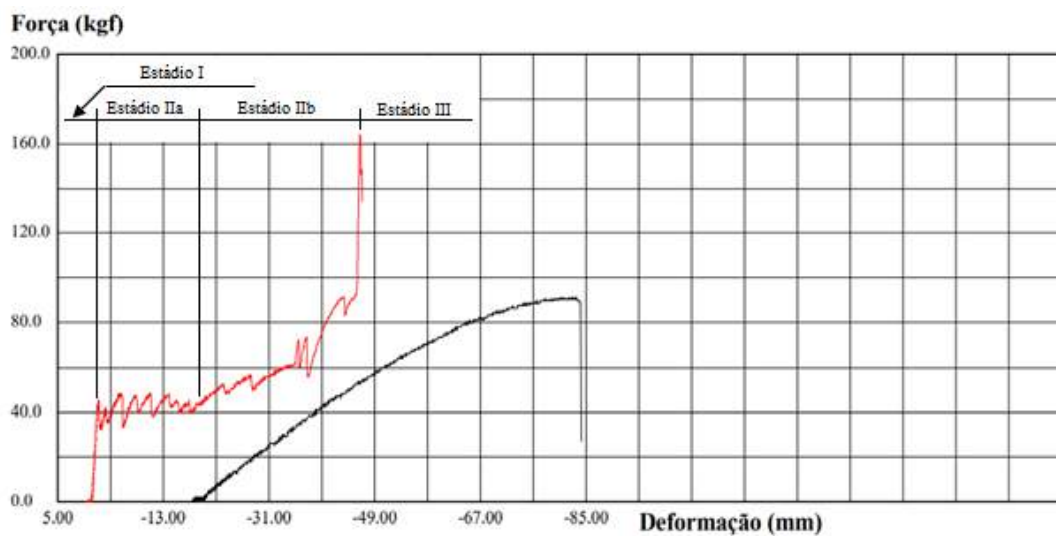
Figura 35 – Estádio III, ruptura da placa 02



Fonte: Autora (2020).

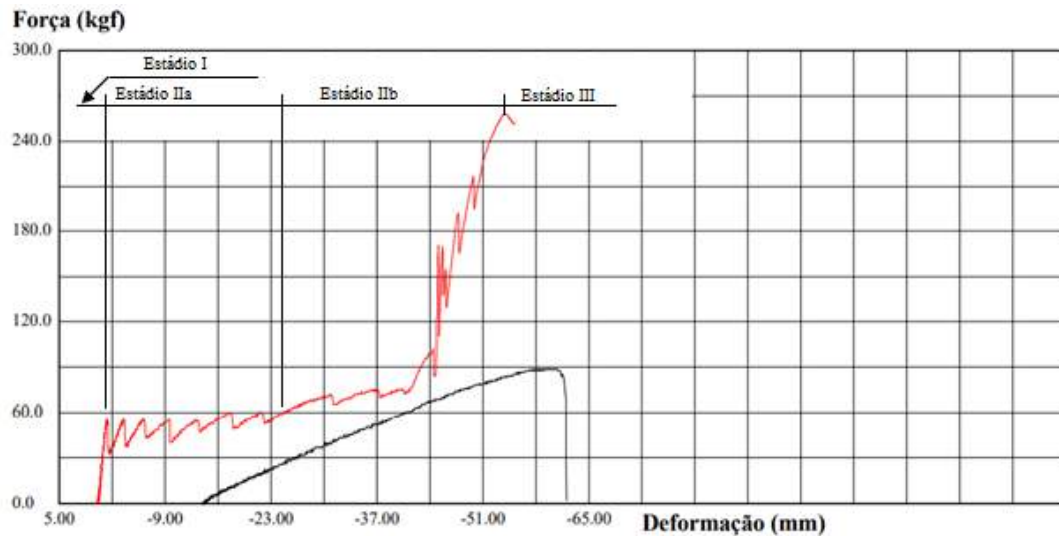
O diagrama carga x deslocamento obtidos a partir deste ensaio de flexão de 4 pontos ou ensaio de Stuttgart está apresentado na Figura 36 e 37, para as placas 01 e 02, respectivamente. O deslocamento apresentado no diagrama é alusivo ao deslocamento do equipamento de ensaio, não representando a deformação real das placas de concreto têxtil. Entretanto no diagrama apresentado é possível observar uma percepção do comportamento à flexão do material, inclusive associado aos diferentes estádios de deformação.

Figura 36 – Diagrama Tensão x Deslocamento, placa 01



Fonte: Adaptado pela autora (2020).

Figura 37 – Diagrama Tensão x Deslocamento, placa 02



Fonte: Adaptado pela autora (2020).

Ambas as placas apresentaram comportamento semelhantes, indicando uma tendência de comportamento compatível com o relatado por Chaer (2001). Em relação a carga máxima, foi obtida o valor de 161,3 kgf para a placa 01 e já para a placa 02 foi obtido um valor de 253,3 kgf. O valor médio foi de 207,3 kgf, a diferença obtida entre as duas placas sugere que houve uma variabilidade entre elas, indicando necessidade de um número de corpos de prova maior a fim de obter resultados mais representativos.

Outro fator importante que pode ser observado nas Figuras 36 e 37, é relativo ao aumento da capacidade de resistência à flexão das placas proporcionada pela malha de fibra de vidro, sendo comparado o Estádio I (relativo à fissuração da matriz cimentícia) em relação ao Estádio III (até à ruptura da malha da fibra de vidro). Além disso fica evidenciado o comportamento frágil das placas de concreto têxtil, rompendo logo após atingir a carga máxima de suporte.

4.4 Análise da aplicabilidade dos painéis têxteis em fachadas

Para ter um resultado mais aceitável sobre a aplicabilidade dos compósitos desenvolvidos para fachadas, foi utilizado como embasamento a autora Kuester (2017) e o cálculo de pressão de sucção do vento, conforme NBR 6123 (ABNT, 1988), NBR 10821-2 (ABNT, 2011) e NBR 10821-2 (ABNT, 2017), devido ao vento ter grande influência sobre elementos aplicados em fachadas. Atualmente essas normas, são as que melhor apresentam parâmetros sobre a incidência do vento em elementos para fachada, com exceção da NBR

10821-2 (ABNT, 2011) que não está mais em vigor, porém regia os requisitos referente a fachadas.

Com o auxílio do programa FTOOL, analisou-se qual o momento fletor mínimo necessário para uma placa ser aplicada na fachada. Levando em consideração os seguintes dados: edificação com distância entre pisos de 3m de altura, vigas superiores e inferiores para que cada painel fosse apoiado nelas através de insertes metálicos, pressão do vento de 1412,08 N/m² de acordo com a NBR 10821-2 (ABNT, 2011) e autora Kuester (2017). Tem-se a seguinte equação para o esforço do vento:

$$V = P_e \times L_p$$

$$V = 1,41208 \frac{kN}{m^2} \times 0,165 m = 0,233 kN/m$$

onde:

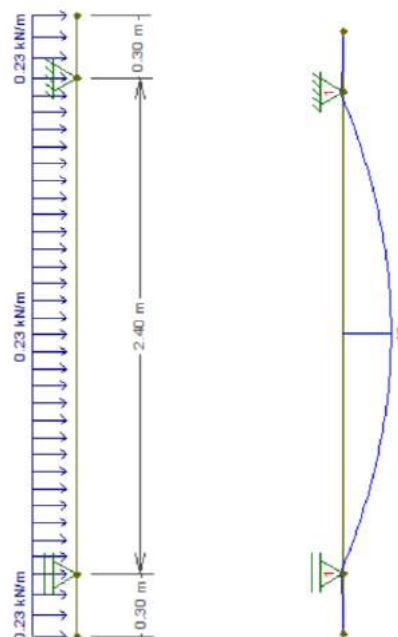
V = esforço do vento, em kN/m;

P_e = pressão do vento, em kN/m²;

L_p = largura do painel, em m;

Conforme pode ser visto na Figura 38, o programa FTOOL gerou um momento fletor de 16 kN.cm, necessário pra uma placa com estas considerações acima citadas.

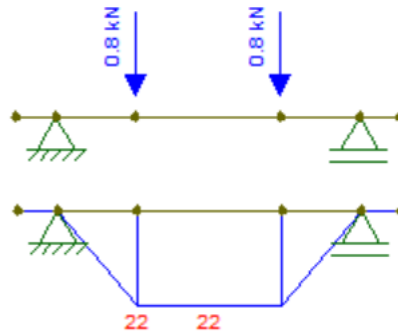
Figura 38 – Momento fletor mínimo para uma placa ser aplicada na fachada



Fonte: Adaptado do programa FTOOL (2020)

A partir disso, analisou-se o momento fletor da Placa 01 que teve a menor carga máxima de ruptura de 161,3 kgf. Fazendo as mesmas considerações citadas acima, obtivemos um momento fletor de 22 kN.cm de acordo com a Figura 39.

Figura 39 – Momento fletor mínimo da Placa 01.



Fonte: Adaptado do programa FTOOL (2020)

Tendo em vista essas considerações e comparações, podemos concluir que ambas as placas, com apenas uma camada de têxtil, podem ser aplicadas em fachadas. Mesmo que, tenham ficado poucos resultados, sejam necessárias mais amostras para chegar numa conclusão mais aceitável, ainda assim as duas placas passam no requisito mínimo de 16 kN.cm para serem aplicadas na fachada.

Importante ressaltar que só podemos afirmar isso, pois levamos em consideração apenas esforços de vento, não havendo outras ações empregadas, mas que podem ser analisadas em trabalhos futuros.

5 CONCLUSÃO

Inicialmente pode-se concluir que foi possível adaptar a dosagem da matriz cimentícia com base no autor Brameshuber et al. (2006), para os materiais disponíveis localmente.

Quanto ao desenvolvimento dos protótipos em relação ao método produtivo, pode-se apontar que os painéis foram facilmente produzidos em laboratório. Indicando assim, uma possível fabricação otimizada de elementos com este tipo de tecnologia, o que colaboraria com a indústria 4.0 que vem tanto se falando nos últimos anos.

Na análise do comportamento mecânico dos compósitos, constata-se que os painéis de concreto têxtil apresentaram maiores deformações e menores rigidezes quando comparado ao concreto comum. Ainda podemos informar, que o comportamento de carga da ruptura do protótipo foi influenciado basicamente pela dosagem e qualidade dos materiais, orientação do reforço e número de camadas de têxtil no compósito.

Outros fatores importantes que podem ter influenciado no comportamento e resultados da carga de ruptura, são:

- O tipo da célula de carga utilizada na prensa hidráulica do laboratório para fazer os ensaios. O qual pode interferir nos resultados dos ensaios de flexão, tanto dos corpos de provas prismáticos quanto dos compósitos, por não possuir a sensibilidade suficiente para distinguir pequenas diferenças nos ensaios. Possivelmente os resultados emitidos pela máquina seriam superiores aos obtidos, se o tipo da célula fosse mais adequado a estes ensaios.

- O método de ensaio utilizado nos corpos de provas prismáticos, o qual é mais indicado para argamassas, ou seja, recomendado para materiais menos resistentes. Ainda assim, obteve-se resultados satisfatórios em comparação com os autores citados ao longo do trabalho.

Ao analisar a aplicabilidade do compósito levando em consideração as ações do vento, sem empregar outros esforços, conclui-se que ambas as placas podem ser aplicadas em fachadas. Pois, de acordo com o requisito mínimo calculado de 16 kN.cm de momento fletor, a placa 01, que suportou a menor carga de ruptura, atingiu 22kN.cm de momento fletor.

Sendo assim, mesmo que seriam necessárias mais amostras de corpos de provas para um resultado mais confiável, ambas as placas superaram os requisitos mínimos calculados e mostraram grande potencial para aplicação em fachadas.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

São inúmeras as possibilidades de temas futuros empregando o concreto têxtil e/ou dando sequência ao presente trabalho, como:

- Análise de um número maior de corpos de provas cilíndricos e prismáticas, do que os estabelecidos pelas NBR 7215 (ABNT, 1997) e NBR 13279 (ABNT,2005), a fim de verificar a repetibilidade dos ensaios deste trabalho;

- Avaliação de custos-benefícios de painéis em concreto têxtil;
- Estudo do comportamento de compósito com mais camadas de têxteis;
- Elementos com espessuras menores que o confeccionado neste trabalho;
- Propor um sistema construtivo industrializado do compósito;
- Comparativo das propriedades mecânicas dessas placas de concreto têxtil com peças de concreto armado;

- Estudo de possíveis patologias em elementos de fachadas em concreto têxtil;
- Verificações ou sugestões de cálculos para dimensionamento de peças em concreto têxtil;

- Sugestões ou criação de normatizações para este tipo de elemento;
- Análise experimental de isolante térmicos e/ou acústicos nestes compósitos;
- Estudo da influência do vento nesta peça;
- Estudo de projeção de durabilidade destes elementos;
- Analisar a capacidade do sistema em concreto têxtil para eliminar a utilização de estruturas complementares como pilares e vigas de travamento da alvenaria;

- Análise do acabamento de peças em concreto têxtil;
- Analisar a influência da incorporação de agentes pigmentantes na matriz cimentícia de elementos em concreto têxtil;

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: *Edificações Habitacionais - Desempenho*. Rio de Janeiro: Abnt, 2012. 5 p.
- _____. NBR 16055: *Parede de concreto moldado no local para a construção de edificação*. Rio de Janeiro: Abnt, 2011. 10 p.
- _____. NBR 16475: *Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos*. Rio de Janeiro: Abnt, 2017. 8 p.
- _____. NBR 9062: *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro: Abnt, 2017. 8 p.
- ACKER, A. V. *Manual de sistemas pré-fabricados de concreto*. Campinas: Unicamp/FIB, 2002.
- ARAUJO, Marcelo Ferreira de Souza Bezerra. *Simulação pelo método dos elementos finitos de peças em concreto têxtil*. 2019. Dissertação - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- BENTUR, Arnon; MINDESS, Sidney. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. 2. ed, Boca Raton: Taylor & Frances Group, 2007.
- BRAMESHUBER, W.; BROCKMANN, T. *Textile Reinforced Concrete (TRC) Durability Aspects of Fine Grained Binder Systems*. 2003.
- BÜTTNER, T.; ORLOWSKY, J.; RAUPACH, M. *Fire resistance tests of textile reinforced concrete under static loading – results and future developments*. p. 363–372, 2014.
- CIOCCHI, L. *As vantagens dos painéis de concreto industrializados*. Pini Web, 2003. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/as-vantagens-dos-paineis-deconcreto-industrializados-80193-1.aspx>>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- CHAER, A. V.; *Notas de aula da disciplina estruturas de concreto armado I – Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2001*.
- DENARDI, A. *Concreto têxtil: uma revisão bibliográfica sobre desenvolvimentos, aplicações e perspectivas de estudos e empregos no Brasil*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- GIESE, C. H, Andressa. *Utilização de argamassa reforçada com têxtil de fibra de vidro álcali resistentes para reforço à flexão de vigas de concreto armado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- GRIES, T.; ROYE, A.; OFFERMANN, P.; ENGLER, T.; PELED, A. 3 *Textiles. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC: Textile Reinforced Concrete*, p. 11–27, 2006.

HEGGER, J.; VOSS, S. *Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete*. v. 30, p. 2050–2056, 2008.

HEGGER, J.; WILL, N.; BENTUR, A.; CURBACH, M.; JESSE, F.; MOBASHER, B.; PELED, A.; WASTIELS, J. 6.2 *Mechanical behaviour of textile reinforced concrete*. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC: Textile Reinforced Concrete, p. 133–183, 2006.

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

JESSE, F.; WEILAND, S.; CURBACH, M. *Flexural Strengthening of RC Structures with Textile-Reinforced Concrete*. 2008.

KÖCKRITZ, U.; HAUSDING, J.; ENGLER, Th.; CHERIF, Ch. *Innovative technology for the manufacture of textile reinforcements for concrete*. In: 1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC) INNOVATIVE, 2006.

KRÜGER, M.; REINHARDT, H.-W.; FICHTLSCHERER, M. *Bond behaviour of textile reinforcement in reinforced and prestressed concrete*. OTTO-GRAF-JOURNAL, v. 12, p. 33–50, 2001.

KUESTER, P. *estudo de componentes para aplicação como sistemas de revestimento em fachadas ventiladas*. Universidade de Santa Cruz do Sul – Unisc, Santa Cruz do Sul, 2017.

KULAS, C.; GMBH, S. *Actual applications and potential of textile-reinforced concrete*. In: GRCA CONGRESS, 2015.

L. S. LORENZI, A. LORENZI, D. L. KLEIN. *avaliação de desempenho estrutural de painéis de concreto armado pré-fabricados*. CONPAT 2019, Vol. 1, CONTROL DE CALIDAD, 2019.

LOURESINI, L. *desenvolvimento de painel pré-fabricado em concreto armado para vedação, com núcleo composto por material para isolamento térmico*. da Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concrete: microstructure, properties, and materials*. 3. ed. McGraw-Hill, 2006.

MORASSUTTI, Daniel Salvadori: *Passarela em concreto armado e concreto tÊxtil: comparativo entre metodologias de dimensionamento*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

NORA, Juliana Berteli. *Análise experimental do Concreto Têxtil como reforço à flexão de vigas de concreto armado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

NUNES, Laerce de Paula. *Materiais: aplicações de engenharia, seleção e integridade*. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

PAWLICKA, A; FRESQUI, M; TRSIC, M. *Curso de Química para engenharia: Materiais*. 1. ed. São Paulo: Editora Manole LTDA, 2009. 50 p.

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. *Fabric structure and its reinforcing efficiency in textile reinforced cement composites*. v. 34, p. 107–118, 2003.

PELED, A.; COHEN, Z.; PASDER, Y.; ROYE, A.; GRIES, T. *Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites*. v. 30, p. 174–183, 2008.

PELED, A.; SUEKI, S.; MOBASHER, B. *Bonding in fabric – cement: Effects of fabrication methods*. v. 36, p. 1661–1671, 2006.

PORTAL, N. W. *Sustainability and flexural behaviour of textile reinforced concrete*. 2013

REVEL, M. (1973). *La prefabricacion em la construccion*, 1.ed. Bilbao: Urmo, 1973. P.457.

SCHEERER, S.; SCHLADITZ, F.; CURBACH, M. *Textile reinforced concrete – from the idea to a high performance material*. p. 15–34, 2015.

SILVA, Rebecca Mansur de Castro. *Comportamento mecânico de concretos têxteis reforçados com tecido de carbono: aspectos materiais e estruturais*. Dissertação Mestrado - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2018.

VOSS, S.; HEGGER, J. *Dimensioning of textile reinforced concrete structures*. In: 1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC). 2006

XU, S.; SHEN, L.; WANG, J. *The high-temperature resistance performance of TRC thinplates with different cementitious materials!: Experimental study*. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, v. 115, p. 506–519, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.070>>

