

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ ARTUR ROCHA DE BRITO

**AVALIAÇÃO DA AÇÃO DO FOGO EM CONCRETOS REFORÇADOS POR
MANTA DE FIBRA DE CARBONO COM A UTILIZAÇÃO DE PROTEÇÕES
PASSIVAS**

Natal/RN

2019

ANDRÉ ARTUR ROCHA DE BRITO

**AVALIAÇÃO DA AÇÃO DO FOGO EM CONCRETOS REFORÇADOS POR
MANTA DE FIBRA DE CARBONO COM A UTILIZAÇÃO DE PROTEÇÕES
PASSIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

Natal/RN

2019

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Brito, André Artur Rocha de Brito.

Avaliação da ação do fogo em concretos reforçados por manta de fibra de carbono com a utilização de proteções passivas / André Artur Rocha de Brito. – Natal, 2019.

58f.

Orientador: Profº. PhD. Fábio Sergio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Engenharia civil – Monografia. 2. Manta de fibra de carbono – Monografia. 3. Reforço estrutural – Monografia. 4. Materiais – Monografia. 5. Fogo – Monografia. 6. Proteção passiva – Monografia. I. Pereira, Fábio Sergio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

ANDRÉ ARTUR ROCHA DE BRITO

**AVALIAÇÃO DA AÇÃO DO FOGO EM CONCRETOS REFORÇADOS POR
MANTA DE FIBRA DE CARBONO COM A UTILIZAÇÃO DE PROTEÇÕES
PASSIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Phd. Fabio Sérgio da Costa Pereira
Orientador – UNI-RN

Prof. MSc. Tomás Barros Vasconcelos
Avaliador interno – UNI-RN

Prof. Dr. Márcio Luiz Varela Nogueira de Moraes
Avaliador externo – IFRN

RESUMO

A utilização da manta de fibra de carbono como reforço estrutural tem se mostrado uma solução eficiente, pois apesar do seu custo elevado, não gera aumento de seção transversal e assim não fornece um aumento de carga as estruturas, mas esse tipo de reforço é bastante vulnerável a ação do fogo. Este trabalho tem como objetivo analisar materiais que consigam proteger passivamente esse tipo de reforço contra a ação da chama. Para fazer essa análise foram confeccionadas placas de concreto reforçadas com manta de fibra de carbono e aplicada em cada uma delas os seguintes materiais: Concreto convencional, concreto com flocos de fibra de cerâmica, argamassa, argamassa com floco de fibra de cerâmica, manta de fibra de cerâmica e gesso, que servirão de proteção passiva para em seguida submetê-las a situação de incêndio utilizando um maçarico, de gás MAPP, como fonte de calor. De acordo com os ensaios realizados pode-se perceber que o único material utilizado na pesquisa que não conseguiu proteger a manta de fibra de carbono da ação do fogo foi o gesso e assim concluindo que os demais materiais podem ser aplicados como proteção passiva do reforço, sendo a manta de fibra de cerâmica o único sistema que não produz sobrecarga a estrutura.

Palavras-chave: Manta de fibra de carbono. Reforço estrutural. Materiais. Fogo. Proteção Passiva.

ABSTRACT

The use of the carbon fiber composite, as structural reinforcement, has been shown to be a efficient solution, despite its high cost, it doesn't generate section increasement and thus doesn't provide an addition of load structures, but this type of reinforcement is quite vulnerable by the fire's action. This work aims to analyze materials that passively protect this type of reinforcement against the action of the flames, to perform this analysis were made concrete plates reinforced with carbon fiber composite and applied to each of them the following material: Concrete, concrete with ceramic fiber's flake, grout, grout with ceramic fiber's flake, ceramic fiber blankets and plaster, which will serve as passive fire protection and then submit them to fire situation using a MAPP gas blowtorch as heat source. According to the tests results, it was possible to realize that the only material, used in the research, wasn't able to protect the carbon fiber composite from the action of fire war the plaster and thus deducing that the others materials can be applied as passive fire protection of the reinforcement and the ceramic fiber blanket is the only system that does not produce overloading on the structure.

Keywords: Carbon fiber composite. Structural reinforcement. Materials. Fire. Passive fire protection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comportamento à tração de vários sistemas de PRF e aço	10
Figura 2 – Placa de concreto reforçado com manta de fibra de carbono (MFC)	13
Figura 3 – Placa de concreto reforçado com MFC com concreto como proteção passiva.....	14
Figura 4 – Placa de concreto reforçado com MFC com concreto com floco de fibra de cerâmica como proteção passiva	15
Figura 5 – Placa de concreto reforçado com MFC com argamassa como proteção passiva.....	15
Figura 6 – Placa de concreto reforçado com MFC com argamassa com floco de cerâmica como proteção passiva	16
Figura 7 – Placa de concreto reforçado com MFC com manta de fibra de cerâmica como proteção passiva	16
Figura 8 – Placa de concreto reforçado com MFC com gesso como proteção passiva	17
Figura 9 – Maçarico utilizado na pesquisa	17
Figura 10 – Aplicação do primer epoxídico em reforço estrutural da laje	21
Figura 11 – Aplicação do regularizador de superfície em reforço estrutural de viga	21
Figura 12 – Aplicação da resina epóxi estruturante em reforço estrutural da laje	22
Figura 13 – Revestimento protetor em reforço estrutural de vigas de uma ponte	23
Figura 14 – Etapas construtivas do reforço estrutural com manta de fibras de carbono.....	24
Figura 15 – Aplicação de reforço estrutural através de manta de fibra de carbono em viga	24
Figura 16 – Reforço estrutural à flexão em laje concluído com utilização manta de fibra de carbono.....	24
Figura 17 – Incêndio em prédio no Tirol em Natal, RN.....	25
Figura 18 – Gráfico apresentando as etapas de um incêndio	26
Figura 19 – Estrutura de concreto armado com reação de <i>pop outs</i>	28
Figura 20 – Estrutura de concreto armado com reação de <i>spalling</i>	28
Figura 21 – Estrutura de concreto armado com reação de <i>sloughing</i>	30
Figura 22 – Vista de caso de incêndio em apartamento em Natal, RN	32

Figura 23 – Vista de estado de viga de concreto armado após incêndio em Natal, RN.....	32
Figura 24 – Vermiculita expandida	38
Figura 25 – Corpo de prova reforçado por MFC com a proteção passiva de concreto projetado vermiculítico	39
Figura 26 – Corpo de prova reforçado por MFC com a proteção passiva de concreto projetado vermiculítico após o ensaio.....	40
Figura 27 – Antes e depois de um perfil metálico protegido por pintura intumescente exposto a altas temperaturas.....	40
Figura 28 – Corpo de prova reforçado por MFC com a proteção passiva de pintura intumescente	41
Figura 29 – Corpo de prova reforçado por MFC com a proteção passiva de pintura intumescente após o ensaio	41
Figura 30 – Manta de fibra cerâmica 1400°C HT	43
Figura 31 – Propriedades físicas da manta de fibra de cerâmica 1400	43
Figura 32 – Difratoograma da manta cerâmica antes de ser usada no processo.....	45
Figura 33 – Difratoograma da manta cerâmica depois de ser usada no processo.....	45
Figura 34 – MEV da manta de fibra cerâmica	46
Figura 35 – Análise EDS do aglomerante sinterizado	46
Figura 36 – Argamassa sendo aplicada	47
Figura 37 – Gesso sendo aplicado	48
Figura 38 – Tabela de composição e custo do Concreto convencional.....	50
Figura 39 – Tabela de composição e custo da argamassa comum (traço 1:3)	50
Figura 40 – Tabela de composição e custo do Gesso (espessura de 3,0 cm)	51
Figura 41 – Placa de concreto reforçado com manta de fibra de carbono durante e depois do ensaio.....	52
Figura 42 – Placa de concreto reforçado com MFC com concreto como proteção passiva.....	53
Figura 43 – Placa de concreto reforçado com MFC com concreto com floco de fibra de cerâmica como proteção passiva durante e pós ensaio	53
Figura 44 – Placa de concreto reforçado com MFC com argamassa como proteção passiva.....	53
Figura 45 – Placa de concreto reforçado com MFC com argamassa com floco de cerâmica como proteção passiva durante e pós ensaio	54

Figura 46 – Placa de concreto reforçado com MFC com manta de fibra de cerâmica como proteção passiva	54
Figura 47 – Placa de concreto reforçado com MFC com gesso como proteção passiva.....	55
Figura 48 – Desprendimento do gesso da placa de concreto reforçado com MFC pós ensaio	55

SUMÁRIO

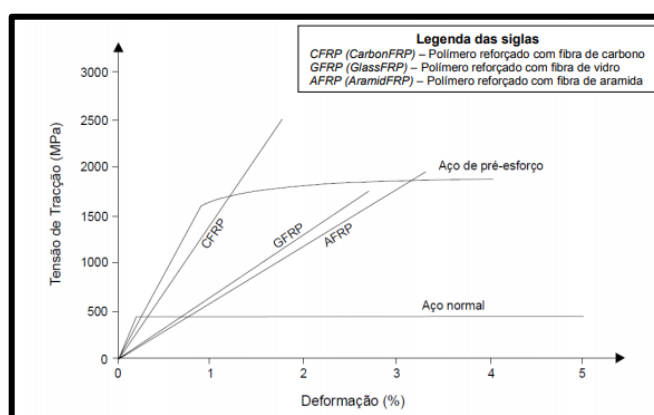
1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	11
3 JUSTIFICATIVA.....	12
4 MATERIAIS E MÉTODOS	13
5 DESCRIÇÃO DE CAPÍTULOS	18
6 REFORÇOS DE ESTRUTURAS COM MANTA DE FIBRAS DE CARBONO	19
6.1 FIBRAS DE CARBONO	19
6.2 RESINAS UTILIZADAS NOS SISTEMAS COMPÓSITOS	20
6.2.1 Imprimadores primários	20
6.2.2 Regularizadores de superfície	21
6.2.3 Resinas epóxi	22
6.2.4 Revestimento protetor	22
6.3 SEQUÊNCIA DE APLICAÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL COM COMPÓSITOS	23
7 O INCÊNDIO	25
8 IMPACTOS DAS ELEVADAS TEMPERATURAS SOBRE O CONCRETO	27
8.1 EFEITO DAS ELEVADAS TEMPERATURAS SOBRE A PASTA DO CONCRETO	28
8.2 EFEITO DAS ELEVADAS TEMPERATURAS SOBRE O AGREGADO DO CONCRETO.....	30
8.3 EFEITO DAS ELEVADAS TEMPERATURAS SOBRE O AÇO NO CONCRETO	31
9 COMPORTAMENTO DO COMPOSTO FIBRA/CONCRETO AO FOGO	34
9.1 RESISTÊNCIA AO FOGO DA RESINA EPÓXI.....	34
10 MATERIAIS PARA PROTEÇÃO PASSIVA.....	37
10.1 VERMICULITA	38
10.2 PINTURAS INTUMESCENTES.....	40
10.3 MANTA DE FIBRA CERÂMICA	43
10.4 ARGAMASSA.....	47
10.5 GESSO.....	48

11 ESTUDO DE CASO	50
11.1 ANALISE DE CUSTO DOS MATERIAIS PESQUISADOS.....	50
12 RESULTADOS.....	52
14 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade de efetuar a reabilitação de estruturas que apresentam manifestações patológicas, geralmente devido a utilização de materiais e componentes de baixa qualidade, especificações de projeto fora dos padrões estabelecidos por normas, erro na concepção de projeto ou danos devidos a desastres naturais podem causar sérias deteriorações na infraestrutura das edificações. Os sistemas estruturais reforçados com fibras de carbono são os que melhor se ajustam às exigências do reforço de estruturas, pois além de maiores resistências à tração e à compressão, o valor do módulo de elasticidade longitudinal é o mais próximo ao do aço (JUVANDES, 2002), conforme indica a Figura 1.

Figura 1 – Comportamento à tração de vários sistemas de PRF e aço



Fonte: (JUVANDES, 2002).

Os compósitos de polímero de fibra de carbono (PRFC) são produzidos em forma de mantas, tecidos ou laminados, destacando-se como os mais apropriados para o reforço de elementos estruturais de concreto armado, por permitirem uma menor interferência nas dimensões dos elementos e maior relação entre ganho de resistência e peso próprio (ZUCCHI; LIMA, 2015)

Segundo Pereira (2012), a primeira aplicação de um sistema compósito na América Latina data de 1998, com o reforço estrutural do Viaduto Santa Teresa, localizado na cidade de Belo Horizonte, MG. Existem atualmente mais de 300 obras de reforço somente no Brasil com a utilização de compósitos. Uma das patologias que pode acontecer em um reforço estrutural com o compósito PRFC é a deterioração da manta de fibra de carbono pela ação do fogo em situação de incêndio.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a qualidade de proteções passivas em reforços estruturais com manta de fibras de carbono expostos a ação do fogo.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Verificar qual dos seguintes materiais tem uma melhor eficiência como revestimento de proteção passiva à ação do fogo:

- 1) O concreto convencional;
- 2) A argamassa com flocos de fibra de cerâmica;
- 3) Argamassa comum;
- 4) A manta de fibra de cerâmica;
- 5) O concreto com flocos de fibra de cerâmica;
- 6) O gesso.

3 JUSTIFICATIVA

A utilização da manta de fibra de carbono para reabilitação ou reforço de estruturas de concreto armado apresenta como uma alternativa que desperta grande interesse tanto no meio científico quanto no meio profissional. Sendo que o PRFC exposto pode perder sua funcionalidade quando submetido a altas temperaturas, por isso a necessidade de aplicação de proteções, sejam elas, ativas ou passivas. A proteção ativa é um conjunto de elementos que tem o objetivo de combater imediatamente um incêndio, sendo os elementos mais conhecidos são os extintores de incêndio, os hidrantes e os sprinklers, já as proteções passivas, que são o foco deste trabalho, são proteções incorporadas ao sistema construtivo de uma edificação, formadas por um conjunto de materiais resistentes ao fogo.

Assim a motivação desse trabalho surge da necessidade de buscar a melhor solução para proteção passiva das estruturas reforçadas com manta de fibras de carbono ao fogo, estudando possíveis materiais que possam garantir tal proteção.

Para a academia esse trabalho é importante pois não há muitas pesquisas referente ao tema e com o estudo de vários materiais que possam realizar esse tipo de proteção, esse trabalho de conclusão de curso (TCC) pode ser a base de futuras pesquisas na área.

Essa pesquisa proporcionará também uma visibilidade maior para os materiais utilizados na pesquisa, que apresentaram resultados positivos como proteção passiva contra incêndio, podendo assim ampliar a sua utilização na cadeia da construção civil.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dessa pesquisa foram feitas revisões bibliográficas de livros, artigos científicos e teses de doutorado sobre a utilização de proteção passiva nas estruturas reforçadas por manta de fibra de carbono. Para o estudo prático dessa pesquisa foram feitas sete placas de concreto e em seguida aplicado a manta de fibra de carbono da Clever Reinforcement Company com resistência a tração de 3800 N/mm^2 , seguido a sequência para o reforço, primeiro foi aplicado uma camada de primer para regularizar a superfície, depois uma camada de epóxi, que serve como elemento de união da manta de fibra de carbono com a placa de concreto, em seguida foi aplicado a manta de fibra de carbono e assim finalizado com outra camada de epóxi garantindo o reforço estrutural, conforme a Figura 2 e Figura 14.

Figura 2 – Placa de concreto reforçado com manta de fibra de carbono (MFC)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a confecção das placas reforçadas, foram aplicados a cada placa uma camada de 3,0 cm de espessura de um tipo de material que terá a função de proteger passivamente o reforço, sendo estes materiais:

- 1) Concreto convencional, traço 1:2:3, fator a/c de 0,6 (Figura 3);

- 2) Concreto convencional, traço 1:2:3, fator a/c de 0,6, com flocos de fibra de cerâmica HT 1482°C da REFRATIL Refratários, com densidade de 96 kg/m³. (Figura 4);
- 3) Argamassa comum, traço 1:3, fator a/c de 0,6 (Figura 5);
- 4) Argamassa comum, traço 1:3, fator a/c de 0,6, com flocos de fibra de cerâmica HT 1482°C da REFRATIL Refratários, com densidade de 96 kg/m³. (Figura 6);
- 5) Manta de fibra de cerâmica HT 1482°C da REFRATIL Refratários, com densidade de 64 kg/m³ (Figura 7);
- 6) Gesso (Figura 8).

Figura 3 – Placa de concreto reforçado com MFC com concreto como proteção passiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 – Placa de concreto reforçado com MFC com concreto com floco de fibra de cerâmica como proteção passiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 – Placa de concreto reforçado com MFC com argamassa como proteção passiva



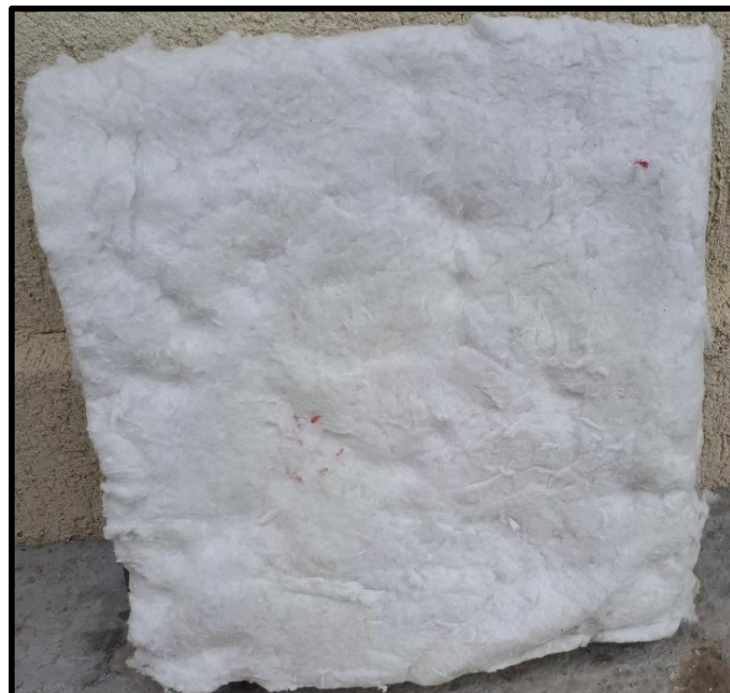
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 – Placa de concreto reforçado com MFC com argamassa com floco de cerâmica como proteção passiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7 – Placa de concreto reforçado com MFC com manta de fibra de cerâmica como proteção passiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 – Placa de concreto reforçado com MFC com gesso como proteção passiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o fim da confecção das placas, foi utilizado um maçarico, para realizar o ensaio com fogo simulando um incêndio (Figura 9), com cilindro de gás MAPP (*Methylacetylene-Propadiene Propane*), no qual a temperatura da chama pode chegar aos 3000°C, segundo fabricantes como a Bernzomatic (2019). As placas foram submetidas a chama com distância padronizada de 3,0 cm e com um tempo de aplicação de 2 minutos para cada placa.

Figura 9 – Maçarico utilizado na pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 DESCRIÇÃO DE CAPÍTULOS

No capítulo 1, foi feita a introdução do trabalho mostrando a idéia geral do tema abordado.

No capítulo 2, foi descrito os objetivos gerais e específicos do trabalho.

O capítulo 3, apresenta a justificativa da escolha do tema da pesquisa.

No capítulo 4, foi apresentado como será feita a metodologia do trabalho ao longo da pesquisa.

O capítulo 5, tem por objetivo resumir cada capítulo disposto no trabalho.

O capítulo 6, tem o objetivo explicar o funcionamento e aplicação do reforço estrutural com manta de fibra de carbono

No capítulo 7, foi descrito as etapas de um incêndio.

O capítulo 8, tem como objetivo explicar o impacto das elevadas temperaturas sobre o concreto

O capítulo 9, explica como ocorre o comportamento do composto fibra de carbono e concreto ao fogo

O capítulo 10, demonstra quais são os materiais utilizados para proteção passiva das estruturas reforçadas por manta de fibra de carbono

No capítulo 11, foi descrito o estudo de caso do TCC, com o estudo de custo dos materiais utilizados como proteção passiva dos ensaios realizados.

No capítulo 12, foram apresentados os resultados da pesquisa.

No capítulo 13, foram apresentadas as conclusões da pesquisa.

6 REFORÇOS DE ESTRUTURAS COM MANTA DE FIBRAS DE CARBONO

6.1 FIBRAS DE CARBONO

O processo de produção consiste na oxidação dessas fibras precursoras, seguido do processamento a elevadas temperaturas (variando de 1.000°C a 1.500°C) para as fibras de carbono. Neste processo térmico as fibras resultantes apresentam os átomos de carbono perfeitamente alinhados ao longo da fibra precursora, característica que confere extraordinária resistência mecânica ao produto final. Quanto maior a temperatura em que o processo industrial se realiza maior será o módulo de elasticidade do material resultante, que varia desde 100 GPa a 300 GPa para as fibras de carbono. Quanto maior for o módulo de elasticidade maior é o custo do material (PEREIRA, 2012).

Os principais tipos de fibra de carbono existentes com suas propriedades são:

- a) **Uso geral:** possui módulo de elasticidade entre 220-235 GPa, resistência máxima de tração <3.790 MPa e deformação de ruptura 1,2%
- b) **Alta resistência:** possui módulo de elasticidade entre 220-235 GPa, resistência máxima de tração entre 3.790-4.825 MPa e deformação de ruptura 1,4%
- c) **Ultra alta resistência:** possui módulo de elasticidade entre 220-235 GPa, resistência máxima de tração entre 4.825-6.200 MPa e deformação de ruptura 1,5%
- d) **Alto módulo:** possui módulo de elasticidade entre 345-515 GPa, resistência máxima de tração >3.100 MPa e deformação de ruptura 0,5%
- e) **Ultra alto módulo:** possui módulo de elasticidade entre 515-690 GPa, resistência máxima de tração >2.410 MPa e deformação de ruptura 0,2%

6.2 RESINAS UTILIZADAS NOS SISTEMAS COMPÓSITOS

De acordo com Machado (2012), uma grande variedade de resinas são utilizadas nos sistemas compósitos, incluindo os imprimadores primários, os regularizadores de superfície, os saturantes e os adesivos. São correntemente empregadas resinas à base de epóxi, ésteres de vinil e poliésteres. As resinas atualmente disponíveis foram formuladas de tal maneira a terem o seu comportamento estrutural otimizado para uma larga variedade de condições ambientais. As resinas também foram desenvolvidas para serem facilmente manuseadas e aplicadas.

Dentre as características e qualidades principais necessárias às resinas têm-se:

- a) Compatibilidade com o substrato de concreto e resistência elevada de colagem;
- b) Resistência adequada aos agentes ambientais, que incluem elevadas temperaturas, água salgada, pressão de vapor e outros agentes químicos normalmente associados ao concreto exposto;
- c) Capacidade de preenchimento de vazios;
- d) Compatibilidade e aderência com a fibra utilizada no reforço;
- e) Desenvolvimento de propriedades mecânicas apropriadas ao compósito;
- f) Compatibilidade e aderência ao sistema compósito estruturado com fibras.

6.2.1 Imprimadores primários

De acordo com Pereira (2012), os imprimadores primários são utilizados com o objetivo de penetrar no substrato de concreto para permitir, através de seu adesivo específico, a construção de uma ponte de aderência para a resina de saturação ou para outros adesivos a serem aplicados posteriormente, conforme Figura 10. A proporção da mistura dos dois componentes epóxis (um catalisador) A e B varia de acordo com o fabricante.

Figura 10 – Aplicação do primer epoxídico em reforço estrutural da laje



Fonte: Pereira (2012).

6.2.2 Regularizadores de superfície

Segundo Machado (2012), os regularizadores de superfície são utilizados para o preenchimento de vazios e correção de imperfeições superficiais visando propiciar uma superfície lisa e desempenada sobre a qual o sistema compósito será colado, conforme a Figura 11. Esse produto pode ter uma espessura máxima recomendada de 3,0 mm e a sua proporção de mistura depende do fabricante.

Figura 11 – Aplicação do regularizador de superfície em reforço estrutural de viga



Fonte: Pereira (2012).

6.2.3 Resinas epóxi

Segundo Pereira (2012), as resinas de saturação são utilizadas para a impregnação das fibras que constituem o reforço estrutural dos compósitos, fixando-as no local e garantindo um meio efetivo para a transferência das tensões de cisalhamento entre elas, conforme a Figura 12. Uma recomendação fundamental é de que se deve utilizar estritamente a quantidade de resina necessária à impregnação ou à colagem, para que não ocorram alterações sensíveis nas características do compósito. O excesso de resina acarreta uma menor resistência final e um maior peso.

As características fundamentais das resinas são:

- a) Deformação de ruptura compatível com as deformações das armaduras existentes;
- b) Manutenção da estabilidade diante da atuação de agentes químicos;
- c) Suficiente capacidade de aderência às fibras do sistema;
- d) Módulo de elasticidade da ordem de 2.000 MPa;
- e) A relação da mistura varia de acordo com o fabricante.

Figura 12 – Aplicação da resina epóxi estruturante em reforço estrutural da laje



Fonte: Pereira (2012).

6.2.4 Revestimento protetor

Os revestimentos protetores são utilizados para proteger a superfície colada dos sistemas compósitos de potenciais agressões físicas, mecânicas e ambientais.

Esses revestimentos protetores são aplicados na face exterior do sistema curado dos compósitos, conforme ilustrado na Figura 13. (Machado, 2012)

Figura 13 – Revestimento protetor em reforço estrutural de vigas de uma ponte



Fonte: Pereira (2012).

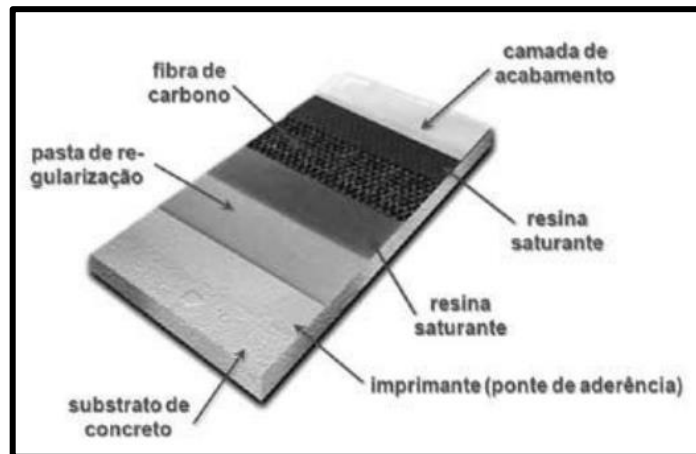
6.3 SEQUÊNCIA DE APLICAÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL COM COMPÓSITOS

A Sequência de aplicação do reforço estrutural com compósitos de acordo com Machado (2012), é a seguinte, conforme a Figura 14:

- 1) Recuperação do substrato de concreto armado para que o sistema possa ser aderido com segurança,
- 2) Imprimação da superfície, utilizando um imprimador epoxídico, sobre a qual será aplicado o sistema para se estabelecer uma ponte de aderência entre o substrato de concreto e o sistema compósito.
- 3) Correção e regularização das imperfeições da superfície do substrato de concreto, de modo a estabelecer um plano nivelado.
- 4) Aplicação da primeira camada de resina epóxi saturante que servirá para impregnar a lâmina da fibra e aderi-la à superfície do concreto.
- 5) Aplicação da lâmina da fibra, manta, que vai reforçar o sistema compósito, Figura 15.
- 6) Aplicação da segunda camada de resina saturante para completar a impregnação da lâmina da fibra, conformando a matriz epoxídica que engloba o sistema, Figura 16.

- 7) Aplicação opcional de película de acabamento com alto brilho e resistente à corrosão, com o objetivo de proteção e/ou acabamento estético para o sistema.

Figura 14 – Etapas construtivas do reforço estrutural com manta de fibras de carbono



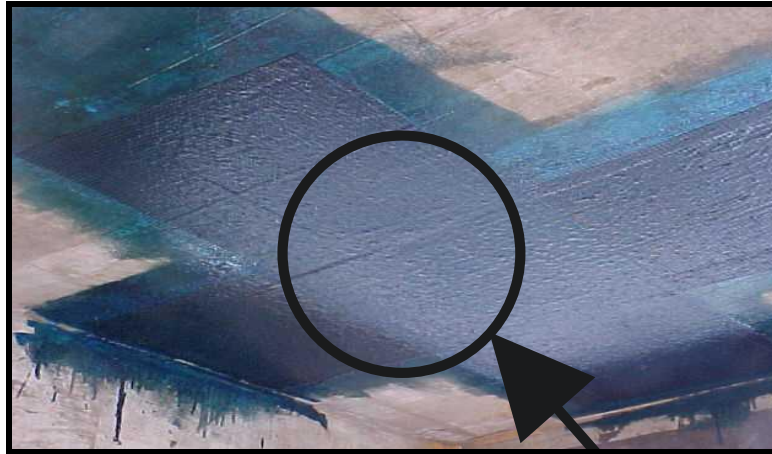
Fonte: Machado (2012).

Figura 15 – Aplicação de reforço estrutural através de manta de fibra de carbono em viga



Fonte: Pereira (2012).

Figura 16 – Reforço estrutural à flexão em laje concluído com utilização manta de fibra de carbono



Fonte: Pereira (2012).

7 O INCÊNDIO

No incêndio (Figura 17) a ação térmica é descrita por meio dos fluxos de calor convectivo e radiativo promovidos pelos gases quentes e as chamas do compartimento, e por meio do fluxo de calor condutivo no interior da massa de concreto, transmitindo o calor molécula a molécula no interior da peça de concreto. O efeito da ação térmica tem por consequência o aumento da temperatura do elemento estrutural. (Costa; Silva, 2002)

Figura 17 – Incêndio em prédio no Tirol em Natal, RN

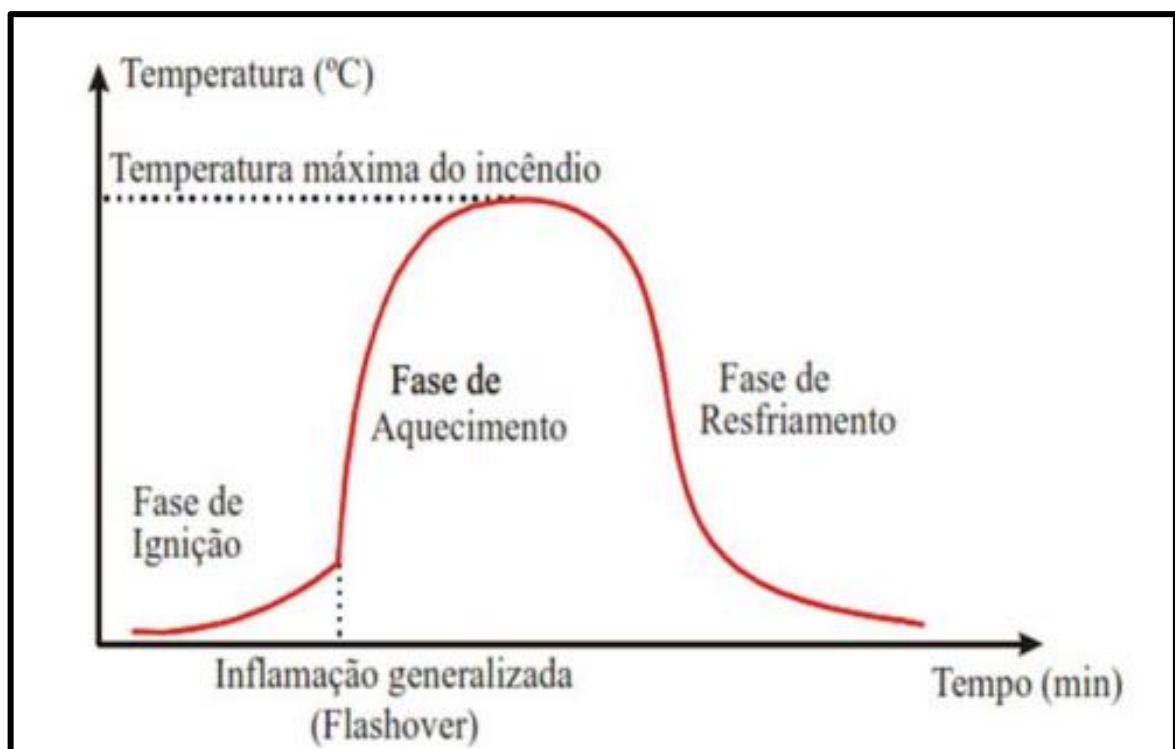


Fonte: Sertencaico (2018).

De acordo com Silva e Vargas (2010), o incêndio apresenta três estágios básicos, conforme a Figura 18:

- a) **Ignição:** região que representa o início da inflamação, com crescimento gradual de temperatura, quase sem influência das características do compartimento (aberturas, material da compartimentação) e sem risco à vida humana ou ao patrimônio por colapso estrutural. Esse estágio termina no instante conhecido por “flashover” (inflamação generalizada). Se as medidas de proteção ativa forem eficientes, o fogo é extinto rapidamente e, portanto, não há necessidade de verificação estrutural.
- b) **Aquecimento:** região caracterizada por uma mudança súbita de crescimento da temperatura. Nesse estágio, todo o material combustível no compartimento entra em combustão e a temperatura dos gases quentes são superiores a 300 °C e de crescimento veloz.
- c) **Resfriamento:** região que representa a redução gradual de temperatura após a extinção de todo o material combustível durante a fase de aquecimento.

Figura 18 – Gráfico apresentando as etapas de um incêndio



Fonte: Guimarães (2007).

8 IMPACTOS DAS ELEVADAS TEMPERATURAS SOBRE O CONCRETO

As estruturas de concreto são reconhecidas pela boa resistência ao incêndio em virtude das características térmicas do material, tais como incombustibilidade e baixa condutividade térmica, o concreto não exalar gases tóxicos ao ser aquecido e as peças de concreto apresentarem maior massa e volume se comparados aos elementos metálicos. No entanto, o aumento da temperatura nos elementos de concreto causa redução na resistência característica e no módulo de elasticidade dos materiais; há perda de rigidez da estrutura e a heterogeneidade dos materiais constituintes do concreto (pasta, agregados, aço) conduz à degradação polifásica do concreto armado, podendo levar as peças estruturais à ruína. A desagregação do concreto pode ser antecipada dependendo das características da própria pasta, como o teor de umidade e as adições para melhorar a resistência. Vários danos progressivos e colapso estrutural de peças de concreto ocorreram colocando em risco a ação de salvamento e combate ao fogo em alguns edifícios de concreto (LIMA, 2001).

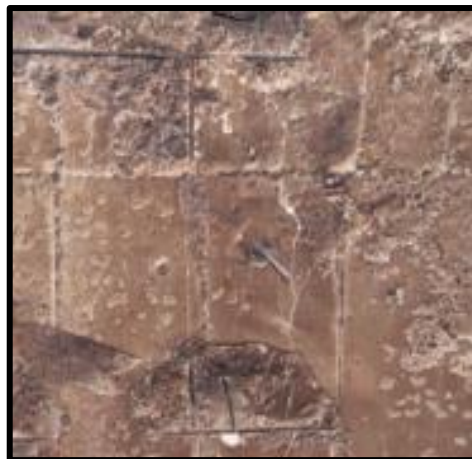
A utilização de concretos com resistências maiores ($F_{ck} > 30$ MPa), permite a concepção de elementos estruturais cada vez mais esbeltos, isto é, áreas de seção transversal menores e comprimentos maiores. A redução do fator água/cimento às custas de aditivos e adições confere maior compacidade ao concreto e reduz a permeabilidade das estruturas. Essas características melhoram a durabilidade e a resistência em temperatura ambiente. Por outro lado, antecipam a degradação do concreto ao fogo. Peças de menor massa e volume se aquecem rapidamente. A perda de rigidez torna-se eficaz no colapso por instabilidade das peças. A reação da macroestrutura do material por meio de *pop outs*, pipocamentos, (Figura 19) e *spalling*, lascamentos, (Figura 20) passam ser mais frequentes, expondo as armaduras à ação direta do fogo (COSTA; SILVA, 2002).

Figura 19 – Estrutura de concreto armado com reação de *pop outs*



Fonte: Feigelson; Couri (2013).

Figura 20 – Estrutura de concreto armado com reação de *spalling*



Fonte: Feigelson; Couri (2013).

8.1 EFEITO DAS ELEVADAS TEMPERATURAS SOBRE A PASTA DO CONCRETO

Quando o concreto é aquecido, a água livre presente na pasta evapora-se. Somente após a vaporização de toda umidade, o concreto ultrapassa os 100 °C de aquecimento (MEHTA, 1994). A partir desse nível, a água adsorvida e a água quimicamente combinada começam a evaporar, desidratando os silicatos de cálcio hidratados, responsáveis pela maior parte da resistência do concreto.

As massas de concreto muito compactas, impedem a liberação da pressão interna de vapor durante o aquecimento pois a porosidade é menor. As massas muito saturadas desenvolvem uma pressão interna de vapor muito elevada ultrapassando a capacidade de liberação de vapores pelos poros. Nesses casos,

spalling explosivos podem ser observados nos primeiros 30 minutos do incêndio (ANDERBERG, 1997). A umidade livre influi predominantemente na pressão de vapor e o fator água/cimento, na permeabilidade (MEHTA, 1994).

Na maioria dos edifícios, o teor de umidade normal do concreto é geralmente maior do que o teor crítico. As peças de concreto exclusivamente internas às edificações podem ter o risco de *spalling* por excesso de umidade, diminuído com o passar dos anos desde que o teor de água livre no concreto também decresça. O teor de umidade de uma estrutura “jovem”, de apenas 2 anos de idade é de aproximadamente 7,5% do volume do concreto, enquanto a mesma estrutura com 7 anos de idade apresenta o teor aproximado de 3,5% do volume total do concreto (LINDGÅRD, 1998).

Contudo, nas camadas externas o teor de umidade será maior do que o limite considerado crítico. Nos concretos de alta resistência o *spalling* explosivo é frequente. São raros os experimentos cujos os corpos-de-prova aquecidos nos quais os lascamentos instantâneos, não foram comuns, a não ser sob taxa de aquecimento muito baixa, da ordem de 1 °C/min a 5 °C/min, inferior ao incêndio-padrão. O Eurocode 2 (CEN,2004) limita o teor de umidade livre para concretos normais em 3%, a fim de assegurar as estruturas de concreto do risco de *spalling* explosivo. Com o *spalling* há perda de uma porção considerável de material da peça, expondo a armadura à ação direta do fogo e ainda, o aquecimento progressivo das camadas do interior do concreto expostas com a perda da superfície. Essa deficiência pode ser melhorada incorporando-se fibras de polipropileno ou “coquetel de fibras” (fibras poliméricas associadas às fibras de aço) na mistura (LINDGARD,1998; WALRAVEN,1999).

Os gradientes térmicos formados ao longo da seção dos elementos estruturais, também contribuem na degradação do concreto armado endurecido submetido a altas temperaturas. A diferença entre a temperatura de várias camadas internas e a superfície do concreto produzem tensões térmicas, cuja intensidade pode superar a resistência à tração da matriz. Há formação de fissuras na zona de transição e as camadas de concreto dos elementos estruturais tendem a se separar. Se a taxa de aquecimento for muito alta há *sloughing*, destacamento de grande extensão do cobrimento sem estilhaçamento violento, (Figura 21) de grande magnitude nos primeiros estágios do incêndio. (PEREIRA, 2012).

Quando o concreto sobrevive ao *spalling* instantâneo, a pasta de cimento Portland sofre uma retração decorrente da liberação da água contida e, ao mesmo tempo, a armadura e os agregados sofrem expansão térmica com a ascensão da temperatura. As fissuras na matriz de concreto tornam-se evidentes aproximadamente aos 300 °C, em virtude das tensões térmicas desenvolvidas na microestrutura do material. Próximo dos 400 °C, inicia-se a decomposição dos hidróxidos de cálcio, resultando em óxido de cálcio puro e água vaporizada. Cerca de 535 °C a desidratação dos hidróxidos de cálcio, responsáveis pela passivação das armaduras, é completa. Essas transformações químicas refletem na resistência mecânica do concreto. Entre 300 °C e 350 °C o concreto silicoso de densidade normal reduz efetivamente a sua resistência. Aos 710 °C, os silicatos estão completamente extintos. Próximo aos 800 °C, a resistência residual é da ordem de 20% da resistência inicial. A densidade do concreto também é afetada pela temperatura (SILVA; SÁ, 2013).

Figura 21 – Estrutura de concreto armado com reação de *sloughing*



Fonte: Feigelson; Couri (2013).

8.2 EFEITO DAS ELEVADAS TEMPERATURAS SOBRE O AGREGADO DO CONCRETO

Quando aquecidos, os agregados sofrem expansões que, dependendo da taxa de aquecimento e tamanho desses agregados, podem ser destrutivos para o concreto, pois eles compõem cerca de 70% do material concreto armado (PEREIRA, 2012).

Os concretos compostos por agregados ricos em sílica (granitos, arenitos, gnaisses e alguns xistos) sofrem *pop outs* (pipocamentos), que são *spalling* de pequenas proporções. Esses estalos com pequenos estilhaçamentos de material são consequentes de expansão térmica súbita que os agregados silicosos sofrem, próximos a 573 °C: os cristais de quartzo- α transformam-se em quartzo- β . Essa mudança de fase é seguida de uma expansão da ordem de 0,85% (SILVA; SÁ, 2013).

Nos concretos compostos por agregados calcários, o dióxido de carbono é liberado dos agregados, por meio de uma reação endotérmica, próximo dos 650 °C. O calor é absorvido, retardando a elevação da temperatura e o material calcinado apresenta menor massa específica, prestando uma forma de isolamento térmica da superfície sendo favorável em peças robustas. Mas a calcinação também causa expansão e fragmentação dos agregados, *sloughing* e durante o resfriamento com água de bombeiro, a reidratação do óxido de cálcio é caracterizada por uma grande expansão e elevada temperatura, aumentando substancialmente as fissuras (SILVA; SÁ, 2013).

8.3 EFEITO DAS ELEVADAS TEMPERATURAS SOBRE O AÇO NO CONCRETO

Segundo Prado (1998), o aço em relação ao concreto (massa) é um bom condutor térmico, absorvendo melhor o calor. Por isso, o aço contribui para o aquecimento localizado nos elementos de concreto armado, em virtude de maior proximidade da face da peça à fonte de calor, diferenças no cobrimento da armadura e existência de vazios sob as barras. Dessa forma, o calor se propaga mais rápido ao longo das ferragens enquanto o concreto permanece com uma temperatura média mais baixa. A temperatura no aço aquecido se uniformiza rapidamente e as armaduras se dilatam mais do que o concreto. As barras flambam e comprimem a zona de aderência aço-concreto oprimindo a interface; por essa razão há perda de aderência e ancoragem.

Independente do diâmetro das barras, a redução da aderência é muito maior em concretos resfriados rapidamente em água do que quanto resfriados gradualmente ao ar. Acima dos 100 °C, a redução da aderência entre as barras e concreto é sensível em função do aumento e duração do aquecimento; após os 400 °C a diminuição na aderência das armaduras é maior do que a redução de

resistência à compressão dos concretos. A partir dos 600 °C há perda completa de aderência. Os incêndios raramente chegam a temperatura de 1550 °C, correspondente ao ponto de fusão do aço. Portanto, não há risco das armaduras nas estruturas de concreto armado se fundirem em situação de incêndio. As máximas temperaturas alcançadas aproximam-se dos 1200 °C. A densidade do aço não varia em função da temperatura elevada e pode ser considerada constante $\rho_{aço} = 7850 \text{ kg/m}^3$. A NBR 15200 (2012) admite que a resistência do aço se anula completamente aos 1200 °C. À medida que a temperatura se eleva, a taxa de redução do módulo de elasticidade do aço é maior que a observada na resistência. A redução no módulo de elasticidade dos aços laminados é linear até 400 °C e, a partir daí, decai acentuadamente (PEREIRA, 2012).

Seguem abaixo (Figuras 22 e 23), exemplos de incêndios ocorridos em estruturas de concreto armado:

Figura 22 – Vista de caso de incêndio em apartamento em Natal, RN



Fonte: Pereira (2012).

Figura 23 – Vista de estado de viga de concreto armado após incêndio em Natal, RN



Fonte: Pereira (2012).

9 COMPORTAMENTO DO COMPOSTO FIBRA/CONCRETO AO FOGO

Em qualquer projeto ou construção, um dos aspectos mais importantes a ser considerado é aquele que se refere à segurança física dos seus ocupantes, e uma das ocorrências que mais causam preocupação é a possibilidade da ocorrência de incêndio. Como os compostos com fibras de carbono são aderidos externamente às estruturas de concreto armado para permitir o seu reforço, torna-se imprescindível a verificação da resistência ao fogo da estrutura reforçada. Existem diversos códigos e normas estruturais que especificam os requisitos que devem ser verificados para que se tenha segurança relativamente à estrutura reforçada ao fogo (MACHADO,2012).

Contudo, o comportamento ao fogo dos materiais que constituem o sistema composto ainda escapa ao alcance desses códigos e normas em função do relativamente pouco tempo de aplicação dos mesmos na indústria da construção civil. As resinas epoxídicas utilizadas nos reforços com compósitos, de acordo com Pereira (2012), possuem grande quantidade de carbono e hidrogênio sendo inflamáveis variando à sua deterioração ao fogo de acordo com a sua qualidade e composição química, apresentando normalmente um valor de potencial calorífico específico igual a ($C_p=34$ MJ/kg), valor só inferior ao petróleo, polietileno e polipropileno, sendo assim fundamental avaliar o seu potencial de geração de fumaça e propagação da chama.

Costuma-se adotar para essas verificações as recomendações da norma ASTM E84 - *"Características de Combustão de Superfície dos Materiais de Construção"*. Os ensaios preconizados nesta norma determinam a rapidez da propagação da chama em uma área determinada e a densidade da fumaça gerada quando a superfície é exposta a uma fonte térmica controlada à temperatura de combustão. O índice de propagação da chama recebe as seguintes classificações: classe I (<25), classe II (<75) e classe III (<200). O índice de propagação da fumaça deve ser inferior a 450 para poder classificar o acabamento superficial (PEREIRA, 2012).

9.1 RESISTÊNCIA AO FOGO DA RESINA EPÓXI

A resistência ao fogo dos materiais dos sistemas compostos é basicamente determinada pela qualidade da resina utilizada no composto. As resinas passam ao estado frágil vitrificado quando expostas a altas temperaturas. A temperatura na qual se inicia essa transição é conhecida como temperatura de transição vítrea (T_G) (MACHADO, 2012).

A partir de temperaturas superiores a T_G a integridade estrutural de um sistema composto de fibras de carbono começa a se degradar, decorrente do fato de que a resina não consegue manter inalterada a adesão das fibras individuais no composto. Esta T_G se situa na ordem de 90°C para as resinas epoxídicas bicomponentes, curadas à temperatura ambiente, que é o caso mais comum nos reforços com compósitos. A reação química de radiação ocorre entre a temperatura ambiente e a T_G , passando a resina do estado rígido e frágil para o estado viscoso e maleável e a reação química de pirólise ocorre entre 200°C e 300°C de temperatura, apresentando como características principais o início da decomposição do compósito com a quebra das cadeias poliméricas originando os gases voláteis e fumo. Vale salientar que revestimentos comuns contra incêndio como painéis de gesso e fibras minerais não proporcionam isolamento térmico para manter a temperatura na peça e no sistema composto abaixo de T_G (PEREIRA, 2012).

Diante desta consideração, é prática corrente entre os projetistas desconsiderar totalmente a resistência ao fogo desses materiais compostos e depender exclusivamente da resistência ao fogo da estrutura existente na sua condição de não reforçada. A partir de estudos independentes realizados pela empresa Omega Point Research, de San Antonio- Texas- EUA, determinou-se que os sistemas compostos estruturados com fibra de carbono em sua aplicação padrão (com revestimento convencional) geralmente cumprem com os requisitos mínimos da norma ASTM E84 para a classe III (índice de propagação da chama <200). Os produtos normalmente aplicados para o revestimento dos sistemas compostos normalmente não satisfazem os requisitos da norma no que se refere à formação de fumaça, portanto não devem ser utilizados esses revestimentos em espaços interiores submetidos a requisitos de geração de fumaça. Para áreas com requisitos de propagação de chama e de geração de fumaça torna-se necessária a utilização de revestimentos intumescentes apropriados, normalmente aplicados em duas camadas, atendendo as recomendações da norma para a categoria classe I (índice

de propagação da chama <25), permitindo seu uso irrestrito em edificações (MACHADO, 2012).

De maneira geral, os sistemas compostos nos reforços de estruturas de concreto trabalham em locais onde a temperatura não excede o ponto de transição vítrea da matriz, normalmente situado entre 80°C e 90°C de temperatura, sendo a temperatura ambiente da ordem de 70°C (limite prático de dimensionamento). Acima do ponto de transição vítrea as matrizes epoxídicas começam a ser afetadas em sua eficiência, conduzindo a uma diminuição da capacidade resistente do reforço aplicado. As peças com reforço em montagem sub-superficial (placas e fitas de fibra de carbono e cabos protendidos de fibra de carbono) apresentam um melhor comportamento mecânico do que as peças reforçadas com aplicação de tecidos e laminados diretamente aderidos à superfície do concreto, em virtude de sua menor exposição à chama, devido ao recobrimento utilizado (MACHADO, 2012).

10 MATERIAIS PARA PROTEÇÃO PASSIVA

Os materiais existentes para proteção das estruturas de concreto armado reforçadas com manta de fibra de carbono (MFC) têm a função de retardar o aumento de temperatura na superfície dos elementos estruturais, devendo possuir as seguintes características, que podem ser analisadas no Quadro 1:

- Baixa massa específica,
- Baixa condutividade térmica
- Alto calor específico.

Quadro 1 – Propriedades dos materiais isolantes.

Material	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/Kg°C)	Condutividade (W/m°C)
Argamassa de fibras minerais	200 – 350	1050	0,08 – 0,1
Placas de Vermiculita	150 – 300	1200	0,12 – 0,17
Placas de vermiculita e gesso	800	1200	0,15
Argamassa de vermiculita	300 – 800	920	0,06 – 0,15
Argamassa de gesso	500 – 800	1700	0,02 – 0,23
Mantas de fibras minerais	100 – 500	1500	0,23 – 0,25
Mantas cerâmicas	64 – 192	1067	0,1 – 0,25
Concreto celular	300 – 1000	1200	0,12 – 0,40
Concreto leve	1200 – 1600	1200	0,64 – 0,81
Concreto de cimento Portland	2200 – 2400	1200	1,28 – 1,74

Fonte: Mendes (2004).

Suas aplicações começaram com o encamisamento dos elementos estruturais através de alvenaria e concreto, produzindo revestimentos de alta densidade e com grandes espessuras. Em seguida surgiram as aplicações projetadas de gesso hidratado e argamassa. Elas reduzem a capacidade resistente de um reforço em 28% e em 16% respectivamente, utilizando espessuras de 1,5 cm, não obtendo resultados satisfatórios de proteção à estrutura reforçada. Para se

melhorar a ação da argamassa e do gesso como proteções passivas em estruturas de concreto armado, deve-se aumentar suas espessuras de proteção. Vale lembrar que o tecido de fibra de carbono não sofre alteração em sua microestrutura pela ação do fogo (PEREIRA, 2012).

Segundo Pereira (2012), a fibra de rocha ou vermiculita utilizada na projeção de concretos vermiculíticos, a fibra cerâmica utilizada em mantas e na projeção de concretos com flocos de fibra cerâmica e as pinturas intumescentes são atualmente os melhores materiais para se proteger as estruturas de concreto armado e estruturas metálicas respectivamente em relação ao fogo.

10.1 VERMICULITA

A vermiculita (Figura 24), isolante térmico não refratário, é um produto industrializado de origem mineral inorgânico semelhante à mica expandida formada por silicatos hidratados de alumínio e magnésio que com ação do fogo a água presente em suas lâminas, se transforma em vapor fazendo com que as partículas explodam e se transformem em flocos sanfonados ou expandidos. Esta expansão acontece na temperatura de 800°C, aumentando em até quinze vezes o seu volume original. Cada floco expandido aprisiona células de ar inerte, conferindo a isolação térmica necessária para proteção do material. Ela geralmente é aplicada como painéis (placas), na forma pastosa e líquida, tendo uma temperatura de fusão de 1300°C, sendo praticamente incombustível (LIMA, 2001).

Figura 24 – Vermiculita expandida



Fonte: NTC Brasil (2018).

A Vermiculita possui as seguintes características:

- Insolúvel em bases, ácidos fracos e solventes orgânicos;
- Tem ph praticamente neutro (7);
- Apresenta baixa densidade ($80-120 \text{ kg/m}^3$);
- Tem baixa condutividade acústica (redução de 62% de ruídos);
- Tem baixa condutividade térmica ($0,06 \text{ kcal m/m}^2 \text{ a } 25^\circ\text{C}$);
- Não é tóxica e abrasiva;
- É grande retentora de água.

O concreto vermiculítico projetado é composto da mistura de vermiculita expandida, cimento portland e aglomerados minerais, sendo utilizado na espessura desejada. Quanto maior o número de camadas aplicadas (espessura), maior é a proteção contra o fogo (PEREIRA, 2012).

Pereira (2012) em sua pesquisa realizou um ensaio aonde ele confeccionou corpos de prova cilíndricos, fez o reforço estrutural com manta de fibra de carbono, e em seguida aplicou um concreto vermiculítico como protetor passivo (Figura 25), esses corpos de provas foram colocados em um forno (Figura 26), a temperatura de 1200°C , e após esse ensaio ele constatou que concreto vermiculítico protegeu o reforço estrutural com manta de fibra de carbono podendo assim atuar como protetor passivo.

Figura 25 – Corpo de prova reforçado por MFC com a proteção passiva de concreto projetado vermiculítico



Fonte: Pereira (2012).

Figura 26 – Corpo de prova reforçado por MFC com a proteção passiva de concreto projetado vermiculítico após o ensaio



Fonte: Pereira (2012).

10.2 PINTURAS INTUMESCENTES

As pinturas intumescentes (Figura 27) são formadas de sais de fósforo, amido, melanina e resina orgânica sendo aplicadas com trincha com uma espessura de 1 cm na forma líquida com duas camadas, possuindo a propriedade de liberação de um gás que se expande a partir de uma temperatura de 200°C, formando uma barreira de espuma carbônica que profere a proteção da estrutura, existindo dois tipos: a que resiste à umidade conferindo uma proteção máxima de 120 minutos e a que não resiste à umidade que confere uma proteção máxima de 90 minutos. Em sua aplicação a temperatura não pode estar abaixo de 5°C e a umidade do ar não pode estar abaixo de 80%. A sua temperatura de fusão é de 1300°C. (PEREIRA, 2012).

Figura 27 – Antes e depois de um perfil metálico protegido por pintura intumescente exposto a altas temperaturas



Fonte: GDS engenharia (2018).

Pereira (2012) em sua pesquisa realizou um ensaio aonde ele confeccionou corpos de prova cilíndricos, fez o reforço estrutural com manta de fibra de carbono, e em seguida aplicou uma camada de pintura intumescente como protetor passivo (Figura 28), esses corpos de provas foram colocados em um forno (Figura 29), a temperatura de 1200°C, e após esse ensaio ele constatou que a pintura intumescente saiu completamente do sistema não protegendo o reforço estrutural com manta de fibra de carbono podendo e assim não podendo atuar como protetor passivo.

Figura 28 – Corpo de prova reforçado por MFC com a proteção passiva de pintura intumescente



Fonte: Pereira (2012).

Figura 29 – Corpo de prova reforçado por MFC com a proteção passiva de pintura intumescente após o ensaio



Fonte: Pereira (2012).

10.3 MANTA DE FIBRA CERÂMICA

Figura 30 – Manta de fibra cerâmica 1400°C HT



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outros materiais que foram analisados nesta pesquisa são a manta de fibra cerâmica (Figura 30) e o concreto com flocos de fibra cerâmica, ambos isolantes térmicos. As lãs ou mantas cerâmicas, são produzidas a partir da fusão a 2.400°C de grãos de alumina e de quartzo, das quais se gera filamentos que recebem sopro de ar para uma maior formação de fibras final, processo denominado “Radial Blowing” (Sopro Radial) tendo como características principais (Figura 31) a baixa densidade, uma alta capacidade de armazenar calor, a baixa condutividade térmica, uma baixa retração a altas temperaturas e uma excelente resistência ao choque térmico. Eles são produzidos por alumina, zircônia e sílica de alta pureza, apresentando uma temperatura de fusão de 1400°C (PINTO JUNIOR, 2010).

Figura 31 – Propriedades físicas da manta de fibra de cerâmica 1400

<i>Cor</i>	Branca
<i>Classe de Temperatura*</i>	1400°C
<i>Temperatura de fusão</i>	1760°C
<i>Diâmetro da fibra</i>	2,5 a 3,5 microns
<i>Calor Específico a 1100°C</i>	1.130 J/kg K
<i>Densidade</i>	2,7 g/cm³

Fonte: Pinto Junior (2010).

Segundo Pinto Junior (2010), as principais vantagens dos materiais feitos com manta cerâmica são:

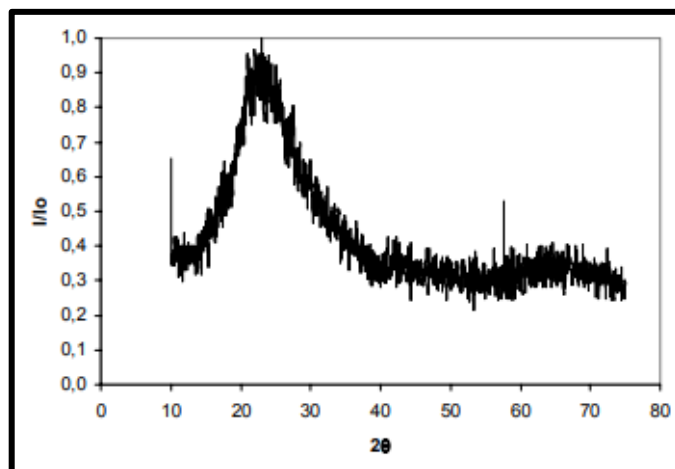
- a) **Baixo peso:** Os equipamentos isolados com manta cerâmica são 75% mais leves que os refratários isolantes e 90 a 95% mais leves que os refratários densos;
- b) **Baixo calor armazenado;**
- c) **Resistência ao choque térmico;**
- d) **Eficiência térmica:** Baixos valores de condutibilidade térmica, aproximadamente 0,46 W/m.K que permitem revestimentos 45% menores que as espessuras exigidas por uma composição de refratários-isolantes, liberando a câmara útil do forno para maior carregamento;
- e) **Flexibilidade de enformamento:** O revestimento com manta cerâmica possibilita que os ciclos de aquecimento e resfriamento sejam acelerados;
- f) **Resistência às Intempéries:** Se molhada por água, vapores ou óleo, suas propriedades físicas permanecem inalteradas após a secagem;
- g) **Resistência à choques mecânicos:** Pela sua constituição, não suportam choques mecânicos severos; na forma de placas rígidas são particularmente resistentes;
- h) **Resistência à ataque químico:** Possui excelente estabilidade química, não sendo afetada pela maioria dos produtos químicos, com exceção dos ácidos fluorídricos, fosfóricos e álcalis concentrados.

A pesquisa realizada por Pinto Junior (2010), teve como base a perda de isolamento térmico da manta de fibra de cerâmica, primeiramente ele levantou a hipótese de que essa perda seria a transição de uma estrutura amorfa da manta para uma estrutura cristalina, que se dá, segundo informações do fabricante, em torno de 900°C, e segundo ele essa transição acontece e tem certa influência na perda, porque, nos materiais sólidos, a transferência de calor se dá tanto através das ondas de vibrações do retículo (fônons), como através dos elétrons livres. Como nos materiais cerâmicos, que é o caso da manta, há uma carência de elétrons livres, pois as ligações atômicas são predominantemente iônicas, a condutividade térmica ocorre principalmente através dos fônons. Para um material que possui uma maior regularidade do arranjo dos retículos (estrutura cristalina) a propagação dessas ondas vibracionais é facilitada se comparada com a de um material de estrutura

amorfa, o que aumenta a capacidade do mesmo em transportar o calor. Logo uma transição na estrutura atômica do material de amorfa para cristalina afetaria de modo negativo seu poder de isolamento térmico.

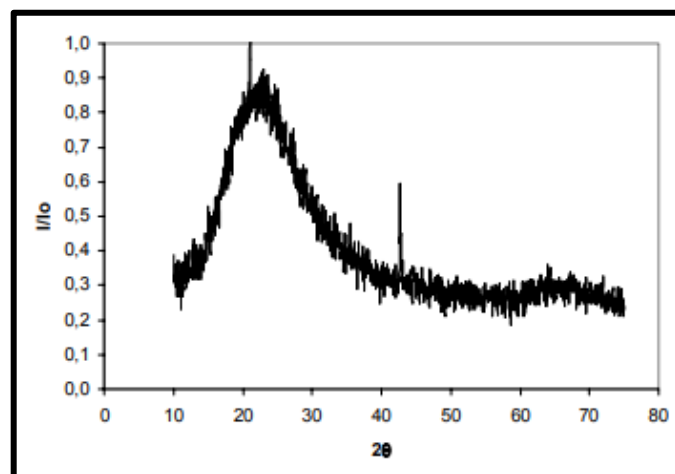
Para verificar se houve uma transição na estrutura atômica, Pinto Junior (2010) realizou um ensaio de difração de raios x numa amostra da manta nova e outra após uso no processo de lingotamento contínuo, os resultados podem ser observados nos difratogramas, nas figuras seguintes:

Figura 32 – Difratograma da manta cerâmica antes de ser usada no processo



Fonte: Pinto Junior (2010).

Figura 33 – Difratograma da manta cerâmica depois de ser usada no processo



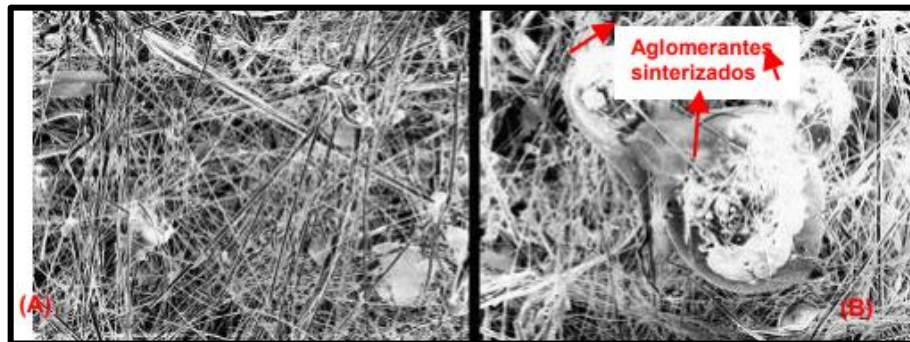
Fonte: Pinto Junior (2010).

Através dos resultados obtidos, Pinto Junior (2010), concluiu que não houve uma transição na estrutura atômica, pois os dois difratogramas (Figura 32 e Figura 33) representam uma estrutura amorfa. Uma possível explicação para isso seria que, apesar do processo de lingotamento contínuo ocorre em temperaturas em torno de

1400°C, e a temperatura de transição vítrea da manta cerâmica é de 900°C, a manta não absorveu calor suficiente para atingir a temperatura de transição.

Pinto Junior (2010), realizou também uma inspeção visual, e notou a presença de pequenas esferas na lã cerâmica usada. Para identificar estas esferas foi necessária uma análise mais criteriosa com o auxílio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), Figura 34.

Figura 34 – MEV da manta de fibra cerâmica

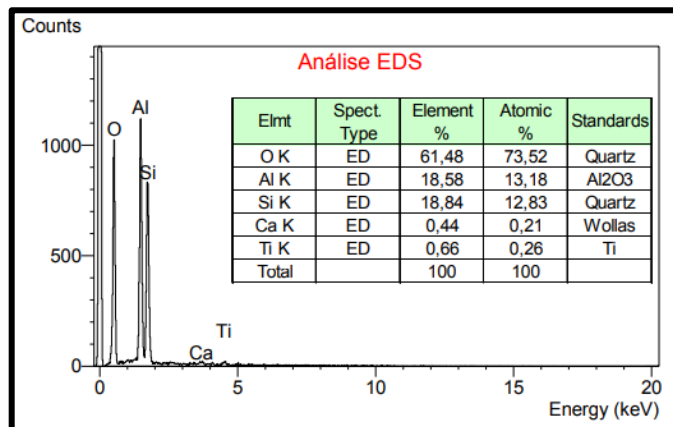


Fonte: Pinto Junior (2010).

Legenda: **A** – Antes do lingotamento contínuo; **B** – Depois do lingotamento contínuo.

Para caracterizar estas esferas, foi realizada uma análise de Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS), cujo resultado da análise se encontra representado na Figura 35. O gráfico mostra a grande presença de alumina e sílica, provenientes provavelmente do aglomerante, que é a base de silicatos. A presença destas esferas diminui a porosidade da lã cerâmica usada, o que consequentemente diminui a sua capacidade de isolamento térmico da manta de fibra de cerâmica (PINTO JUNIOR, 2010).

Figura 35 – Análise EDS do aglomerante sinterizado



Fonte: Pinto Junior (2010).

10.4 ARGAMASSA

Figura 36 – Argamassa sendo aplicada



Fonte: Leme e Carvalho Junior (2014).

A argamassa (Figura 36) segundo Silva (2006), pode ser conceituada como um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria, agregados miúdos, e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água, materiais ativos, podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos.

A NBR 13529 (ABNT, 2013), define a argamassa para revestimento como sendo “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Nesta mesma norma brasileira são definidos outros termos usuais envolvendo o revestimento executado à base de cimento e cal, ou ambos, quanto ao campo de sua aplicação. Podem-se encontrar definições como:

- **Adições:** materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração no proporcionamento;
- **Argamassa de cal:** argamassa preparada com cal como único aglomerante;

- **Argamassa de cimento:** argamassa preparada com cimento como único aglomerante;
- **Revestimento:** é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final.

10.5 GESSO

Figura 37 – Gesso sendo aplicado



Fonte: Pernambucogesso (2018).

O gesso (Figura 37), que encontra usos sob a forma de pasta de revestimento e decorações de interiores, é um aglomerante aéreo. Para a sua confecção se utiliza-se uma única matéria-prima que é a gipsita (sulfato de cálcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ela é bastante utilizada pela indústria da construção, tanto para a incorporação ao cimento tendo a função de retardador de pega quanto para a fabricação de gesso. Ao ser calcinada em temperatura adequada e moída em forma de pó, o sulfato de cálcio dihidratado se transforma em sulfato de cálcio hemidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), pela perda de água de cristalização, devido à perda de água de cristalização, obtendo-se o material usualmente conhecido como gesso (LIMA; SILVA FILHO, 2001).

De acordo com Lima e Silva Filho (2001), as etapas para obtenção do gesso subdividem-se em três fases: britagem da rocha, trituração e queima. Durante a queima ocorrem várias reações de transformação. Em temperaturas de 130 a 160 °C, a gipsita

perde 3/4 partes de água, passando de dihidrato a hemidrato, substância muito mais solúvel que a primeira. Este hemidrato é conhecido por gesso de Paris, gesso de estucador ou gesso de pega rápida. À temperatura de 250 °C, o gesso se torna anidro. O resultado é a anidrita solúvel, ávida de água e que se transforma rapidamente em hemidrato. À temperatura de 400 a 600 °C, a anidrita se torna insolúvel e não é mais capaz de fazer pega. Finalmente, de 900 a 1200 °C obtém-se um produto de endurecimento, denominado de gesso de pavimentação, gesso hidráulico.

O gesso como material, é um isolante de tipo médio, equivalente à madeira e ao tijolo cerâmico. Ele oferece um excelente isolamento térmico, sendo capaz de absorver grandes quantidades de calor, transformando-se em sulfato anidro. Uma camada de gesso de 3,0 cm espessura, por exemplo, é capaz de proteger um elemento durante 45 minutos, a uma temperatura de 1000 °C. A elevada resistência do gesso a altas temperaturas deve-se à água de cristalização; quando a temperatura atinge aproximadamente 120 °C, parte desta água de cristalização se liberta, formando um véu de vapor que não permite que a temperatura junto ao revestimento ultrapasse os 100 °C. A parte restante da água de cristalização liberta-se a 180 °C e reforça este véu de vapor (LIMA; SILVA FILHO, 2001).

11 ESTUDO DE CASO

11.1 ANALISE DE CUSTO DOS MATERIAIS PESQUISADOS

Como complementação desse trabalho foi realizado um estudo de custo dos materiais estudados por este trabalho, sendo levantamento de custo foi baseado na tabela da SINAPI (2019), de onde foi possível retirar os valores dos seguintes materiais:

- 1) Concreto com Fck = 25 MPa, considerando o volume de 0,03 m³ (1 m x 1 m x 0,03 m), custando, aproximadamente, R\$ 8,01/m³ (Figura 38)

Figura 38 – Tabela de composição e custo do Concreto convencional

SERVIÇO: CONCRETO ESTRUTURAL FCK = 25 MPA m3					0,03	m3
INSUMOS	Preço Unit. (R\$)	Consumo	Ud.	Preço Total (R\$)	Quantidade	Preço total
Areia Grossa	60,00	0,7550	kg	45,30	0,023	1,36
Brita 1	90,00	0,5970	m3	53,73	0,018	1,61
Cimento Comum Poty	0,46	364,9400	kg	167,87	10,95	5,04
custo final (R\$)				163,03	Custo total (R\$)	8,01

Fonte: Elaborada pelo autor.

- 2) Argamassa (traço 1:3), considerando o volume de 0,03 m³ (1 m x 1 m x 0,03 m), custando, aproximadamente, R\$ 10,21/m³ (Figura 39);

Figura 39 – Tabela de composição e custo da argamassa comum (traço 1:3)

SERVIÇO: ARGAMASSA (TRAÇO 1:3) m3					0,03	m3
INSUMOS	Preço Unit. (R\$)	Consumo	Ud.	Preço Total (R\$)	Quantidade	Preço total
Areia Media	60,00	1,4400	kg	86,40	0,043	2,59
Cimento Comum Poty	0,46	551,8700	kg	253,86	16,56	7,62
custo final (R\$)				163,03	Custo total (R\$)	10,21

Fonte: Elaborada pelo autor.

- 3) Gesso (com espessura de 3,0 cm), considerando a área de aplicação de 1 m², custa, aproximadamente, R\$ 16,37/m² (Figura 40)

Figura 40 – Tabela de composição e custo do Gesso (espessura de 3,0 cm)

SERVIÇO: GESSO (ESPESSURA 3,0 CM) m2					1,00	m2
INSUMOS	Preço Unit. (R\$)	Consumo	Ud.	Preço Total (R\$)	Quantidade	Preço total
Gesso em Pó	0,39	41,9630	kg	16,37	41,963	16,37
custo final (R\$)				163,03	Custo total (R\$)	16,37

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores analisados pela SINAPI (2019) só estão levando em consideração o custo dos materiais utilizados, não contando o custo do serviço de mão de obra como os pedreiro e de servente, nem equipamentos e aplicação.

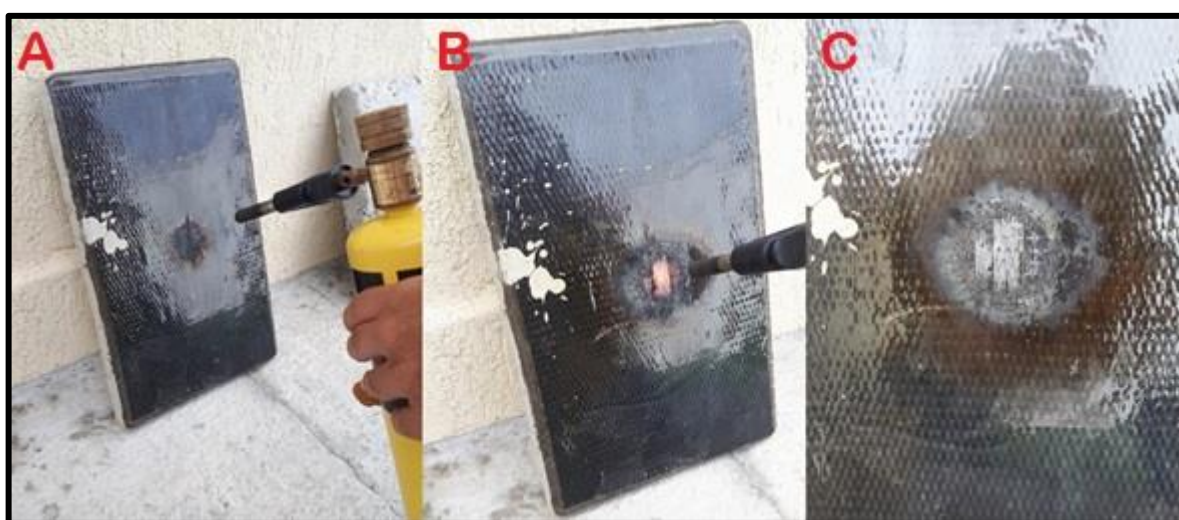
Na composição de custo da SINAPI (2019), não apresenta a tabela de custo para o Gesso (com espessura de 3 cm), tendo apenas as espessuras, 0,5 cm, 1,0 cm e 1,5 cm, então foi feita uma interpolação destes valores de custo referente a cada espessura, sendo :R\$ 3,77, R\$ 6,68 e R\$ 8,75, respectivamente, e assim encontrado o valor para do gesso com 3 cm de espessura.

Para analisar o custo da manta de fibra de cerâmica 1400°C e dos flocos de fibra de cerâmica (utilizado para confecção do concreto e argamassa com fibra de cerâmica), foi solicitado via e-mail a OBR Equipamentos Industriais, o custo de cada material segundo o fornecedor é, respectivamente, R\$ 112,70/m e R\$ 31,00/kg. Para a confecção do concreto e argamassa com floco de fibra de cerâmica foi acrescentado ao traço uma quantidade de floco igual a 10% da massa do cimento utilizado (sugestão do fabricante Refratil Refratário), tanto no concreto quanto na argamassa, no concreto Fck = 25 MPa (volume de 0,03 m³), foi consumido, segundo a SINAPI (2019), 10,95 kg de cimento, então será consumido um total de 1,095 kg de floco custando R\$ 33,95, assim o valor do concreto com floco de fibra de cerâmica é de R\$ 42,05; na argamassa (traço 1:3), com volume de 0,03 m³, foi consumido, segundo a SINAPI (2019), 16,56 kg de cimento, então será consumido um total de 1,656 kg de floco custando R\$ 51,34, assim o valor da argamassa com floco de fibra de cerâmica é de R\$ 61,55.

12 RESULTADOS

Após a implementação dos ensaios com o maçarico pode-se analisar que o composto manta de fibra de carbono, realmente perde sua funcionalidade com a perda total da resina epóxi do sistema no ponto a onde o fogo foi aplicado (figura 41).

Figura 41 – Placa de concreto reforçado com manta de fibra de carbono durante e depois do ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: A – Início do ensaio; B – Durante o ensaio; C – Depois do ensaio.

Após verificar a necessidade da proteção passiva para elementos estruturais reforçados com a manta de fibra de carbono (MFC) foram realizados os ensaios nos seguintes materiais, o concreto convencional (Figura 42), o concreto com floco de fibra de cerâmica (Figura 43), a argamassa comum (Figura 44), a argamassa com floco de fibra de cerâmica (Figura 45) e a manta de fibra de cerâmica (Figura 46), confirmando que esses materiais podem servir como proteção passiva para estruturas reforçadas com manta de fibra de carbono, sendo que o gesso (Figura 47), conseguiu também proteger a placa da ação do fogo, só que após o ensaio foi verificado o desprendimento do gesso da placa reforçada com manta de fibra de carbono (Figura 48).

Figura 42 – Placa de concreto reforçado com MFC com concreto como proteção passiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: A – Início do ensaio; B – depois do ensaio; C – Imagem amplificada do resultado do ensaio.

Figura 43 – Placa de concreto reforçado com MFC com concreto com floco de fibra de cerâmica como proteção passiva durante e pós ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: A – Início do ensaio; B – depois do ensaio; C – Imagem amplificada do resultado do ensaio.

Figura 44 – Placa de concreto reforçado com MFC com argamassa como proteção passiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: A – Início do ensaio; B – depois do ensaio; C – Imagem amplificada do resultado do ensaio.

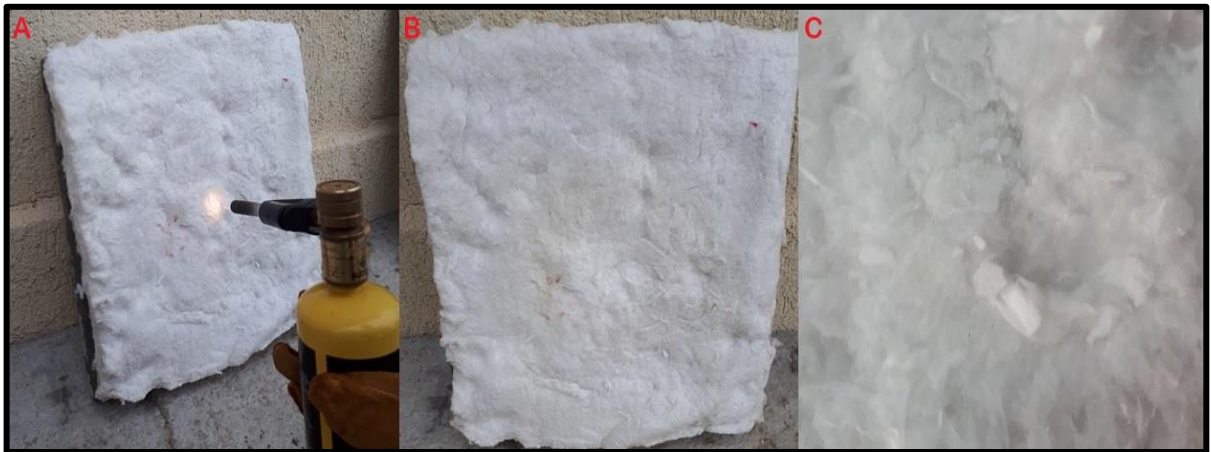
Figura 45 – Placa de concreto reforçado com MFC com argamassa com floco de cerâmica como proteção passiva durante e pós ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: A – Início do ensaio; B – depois do ensaio; C – Imagem amplificada do resultado do ensaio.

Figura 46 – Placa de concreto reforçado com MFC com manta de fibra de cerâmica como proteção passiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: A – Início do ensaio; B – depois do ensaio; C – Imagem amplificada do resultado do ensaio.

Figura 47 – Placa de concreto reforçado com MFC com gesso como proteção passiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: A – Início do ensaio; B – depois do ensaio; C – Imagem ampliada do resultado do ensaio.

Figura 48 – Desprendimento do gesso da placa de concreto reforçado com MFC pós ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor.

14 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nesse trabalho conclui-se que os seguintes materiais, o concreto, o concreto com floco de fibra de cerâmica, a argamassa, a argamassa com floco de fibra de cerâmica e a manta de fibra de cerâmica, poderiam servir como proteção passiva para estruturas reforçadas com manta de fibra de carbono. O Gesso foi o único material estudado nesse trabalho que não pode servir como proteção passiva para estruturas reforçadas com manta de fibra de carbono pois apesar de proteger a manta da ação da chama do maçarico houve o desprendimento do gesso com o reforço não conseguindo cumprir a função de proteção passiva.

Com o levantamento de custo realizado nessa pesquisa, foi feito uma análise para verificar quais desses materiais tinham o melhor custo benefício, no Quadro 2, pode-se ver que o concreto é o material que com a espessura padronizada de 3,0 cm apresenta o menor custo, só que nesse levantamento não foi considerado outros tipos de insumos necessários para aplicar o concreto em obra, como as formas e escoramentos, indicando um aumento no custo apresentado.

A manta de fibra de cerâmica que apesar de ser o material mais caro estudado, tem a vantagem de não acrescentar aumento da seção transversal assim não gerando um acréscimo de carga na da estrutura a ser reforçada pela manta de fibra de carbono.

Quadro 2 – Custo dos materiais.

Material	Custo
Concreto	R\$ 8,01/m ³ ;
Argamassa (traço 1:3),	R\$ 10,21/m ³
Gesso	R\$ 16,37/m ²
Concreto com floco de fibra de cerâmica	R\$ 42,05
Argamassa com floco de fibra de cerâmica	R\$ 61,55
Manta de fibra de cerâmica 1400°C	R\$ 112,70/m ²

Fonte: Elaborada pelo autor.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM E84**: Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials. 2019

ANDERBERG, Yngve. **Spalling Phenomena of HPC and OC**. In: PHAN, Long T.; CARINO, Nicholas J.; DUTHINH, Dat; GARBOCZI, Edward. International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete — NIST — Gaithersburg, MD, February 13-14, 1997. Proceedings. NIST. Gaithersburg (E.U.A.), February, 1997. [NIST Special Publication 919].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15200**: projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012a.

BERNZOMATIC. Disponível em: <<https://www.bernzomatic.com/Products/Fuel-Cylinders/Hand-Torch-Cylinders/MG9>>. Acesso em 01 mai. 2019.

COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta. **Estruturas de concreto armado em situações de incêndio**. XXX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural. 21p. 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1992-1-2: **Eurocode 2: design of concrete structures – part 1.2: general rules – structural fire design**. Brussels: CEN, 2004.

FEIGELSON, Simone; COURI, Gilberto Adib. **Pericias relacionadas a incêndios**. In: XVII Cobreap - Congresso Brasileiro de Avaliações e Pericias de Engenharia, 2013, Florianópolis, Santa Catarina. Pericias ambientais, 2013.

GDS ENGENHARIA. Disponível em: <<http://gsdengenharia.com.br/wp-content/uploads/2017/08/pintura-intumescente-2.jpg>> Acesso: 03/11/2018.

GUIMARÃES, Patrícia Pamplona de Oliveira. **Sobre o Dimensionamento do Revestimento Contra Fogo de Estruturas de Aço**. São Paulo, 2007. 266. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JUVANDES, Luis Filipe Pereira. **Reforço e Reabilitação de Estruturas: Módulo 2.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002. 184f. Formação Profissional – Ordem dos Engenheiros – Universidade do Porto, Madeira, Portugal, 2002.

LEME, Pedro Henrique Paes; CARVALHO JUNIOR, Antonio Neves de. **PRODUTIVIDADE EM OBRAS:** um estudo do processo executivo de argamassa projetada em Belo Horizonte, Minas Gerais. 2014. 43 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG, Belo Horizonte, 2014.

LIMA, Rogério Cattelan Antochaves de; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. **Investigação dos Efeitos de Temperaturas Elevadas em Reforços Estruturais com Tecido de Fibras de Carbono.** 2001. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001

LINDGÅRD, Jan; HAMMER, Tor Arne. **Fire Resistance of Structural Lightweight Aggregate Concrete a Literature Survey with Focus on Spalling.** In: Fourth International Conference on Advances in Concrete Technology. Proceedings. ACI – American Concrete Institute. Tokushima, 1998. [Supplementary Papers]

MACHADO, Ari de Paula. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono,** VIAPOL, 2011.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto — estrutura, propriedades e materiais.** Ed. PINI. São Paulo, 1994.

MENDES, Cristiane Lopes. **Estudo teórico sobre perfis formados a frio em situação de incêndio.** São Carlos, 2004. 160 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MOSCARDI. Disponível em: <<http://moscardiniconstrucao.com.br/como-corriger-umidade-vinda-do-chao>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

NTC Brasil. Disponível em: <<https://www.ntcbrasil.com.br/vermiculita-expandida/>>. Acesso em 10 nov. 2018.

OBR Equipamentos Industriais. Disponível em: < <https://www.obr.com.br/produtos/manta-de-fibra-ceramica/> >. Acesso em: 29 abr. 2019

PEREIRA, Fabio Sergio da Costa, **Avaliação da ação do fogo em concretos reforçados por confinamento através de manta de fibra de carbono com e sem utilização de proteção passiva**, Tese de pós-doutorado, PPGCEM, UFRN, 2012.

PERNAMBUCOGESSO. Disponível em: <<https://www.pernambucogesso.com.br/wp-content/uploads/2015/08/orcamento-banner-home.jpg>>. Acesso em: 7 nov. 2018.

PINTO JUNIOR, Luiz Alberto Baptista et al. **“Caracterização do resíduo de manta cerâmica usada para isolamento térmico e sua utilização na fabricação de argamassa”**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 63, n. 3, p. 523-528, Sept. 2010.

PRADO, Eduardo Parente. **“Intervenções em estruturas de concreto”**. PEF-EPUSP. São Paulo, 1998. [Dissertação de mestrado em engenharia de estruturas]

SERTENCAICO. Disponível em: <<http://sertencaico.blogspot.com/2011/09/predio-pegafogo-no-tirol-em-natal-e.html>>. Acesso em: 7 nov. 2018.

SILVA, Janaina Salustio da; SÁ, Maria das Vitórias Vieira Almeida de. **Estudo de concretos de diferentes resistências à compressão quando submetidos a altas temperaturas sem e com incorporação de fibras de politereftalato de etileno (pet)**. 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Pec, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SILVA, Valdir Pignatta; VARGAS, Mauri Resende; ONO, Rosária. **Prevenção Contra Incêndio no Projeto de Arquitetura**. Rio de Janeiro, 2010.

SINAPI. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 1 mai. 2019

WALRAVEN, Joost. **La evolución del hormigón**. Structural Concrete. P1. No. 1. Fédération Internationale du Béton. Lausanne, 1999.

ZUCCHI, Fernando Luiz; LIMA, Rogério Cattelan Antochaves de. **TÉCNICAS PARA O REFORÇO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS**. 2015. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.