



FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA
Curso Superior de Tecnologia em Produção Têxtil

PEDRO OSSO CARVALHO

CONCRETO ARMADO REVESTIDO DE TECIDO DE CARBONO

Americana, SP

2018



FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA
Curso Superior de Tecnologia em Produção Têxtil

PEDRO OSSO CARVALHO

RA: 0040861613007

CONCRETO ARMADO REVESTIDO DE TECIDO DE CARBONO

Trabalho apresentado como exigência para aprovação
no componente curricular “Trabalho de Conclusão de
Curso” (TCC) do Curso Superior de Tecnologia em
Produção Têxtil da FATEC – Americana
Orientador: Prof.º Ms Alex Paulo Siqueira

Americana, SP

2018

FICHA CATALOGRÁFICA – Biblioteca Fatec Americana - CEETEPS
Dados Internacionais de Catalogação-na-fonte

C327c CARVALHO, Pedro Osso

Concreto armado revestido de tecido de carbono. / Pedro Osso Carvalho. – Americana, 2018.

42f.

Monografia (Curso de Tecnologia em Produção Têxtil) - - Faculdade de Tecnologia de Americana – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

Orientador: Prof. Ms. Alex Paulo Siqueira

1 Tecnologia têxtil 2. Construção civil I. SIQUEIRA, Alex Paulo II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana

CDU: 677

624

PEDRO OSSO CARVALHO

Concreto armado revestido de carbono
Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para
obtenção do título de Tecnólogo em produção Têxtil no curso de tecnologia
Têxtil da Faculdade de Tecnologia de Americana.

Americana 04 de dezembro de 2018.

Banca Examinadora:



Orientador: Ms. Alex paulo Siqueira
Faculdade de Tecnologia de Americana



Professor Convidado: Ms. Valdecir Tralli
Faculdade de Tecnologia de Americana



Professor Convidado: Ms. Jose Fornazier C. Sampaio
Faculdade de Tecnologia de Americana

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço, inicialmente, à minha família que me apoiou em todos os momentos ao longo do curso e, principalmente, no momento da conclusão do atual curso. Agradeço a todos os meus amigos por terem participado desse momento de tensão. Agradeço a todos os docentes por compartilhar o conhecimento necessário para que o trabalho pudesse ser redigido. E por último, agradeço o orientador Alex que me concedeu toda a ajuda e todo suporte técnico para com esse trabalho.

RESUMO

Neste trabalho faz-se uma pequena apresentação ao universo da construção civil com ênfase nas inovações tecnológica, principalmente nos materiais carbônicos, presentes atualmente. Com isso, realizou-se uma análise e, em seguida, comparou os resultados apresentados em estudos de casos para que fosse possível identificar as vantagens e desvantagens e poder dizer se investir nesse material trará ou não bons retornos para o negócio.

Palavras-chave: construção civil; materiais carbônicos; reforço estrutural; têxteis técnicos; concreto.

ABSTRACT

In this work a small presentation is made to the civil construction universe with emphasis on technological innovations, especially in the carbonic materials, presently present. With this, an analysis was made and then compared the results presented in case studies so that it was possible to identify the advantages and disadvantages and be able to say if investing in this material will bring good returns to the business.

Key words: construction; carbonic materials; structural reinforcement; technical textiles; concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Jazida a céu aberto e pátio de pré-homogeneização.	10
Figura 2 – Moinho de farinha ou cru.	10
Figura 3 – Aquecedor e forno.	11
Figura 4 – Resfriador.	12
Figura 5 – Moinho de cimento.	12
Figura 6 – Nomenclatura do cimento.	13
Figura 7 – Fibra de carbono.	17
Figura 8 – Fibra de carbono orientada.	17
Figura 9 – Distribuição do mercado brasileiro de fibras por tipo de aplicação entre 2009 e 2010.	20
Figura 10 – Distribuição do mercado por tipo de aplicação que se manteve constante nos anos de 2009 e 2010.	20
Figura 11 – Esquema de concentração de tensões para um concreto sem fibras (a) e concreto com reforço de fibras (b).	23
Figura 12 – Ginásio Gilbert Bauvin.	24
Figura 13 – Exemplos de pórticos.	25
Figura 14 – Esquema 3D da viga recebendo reforço.	26
Figura 15 – Ensaio de compressão.	27
Figura 16 – Tipos de resistência à tração.	28
Figura 17 – Tensão de cisalhamento.	28
Figura 18 – Projeto final no edifício.	29
Figura 19 – Viaduto de Santa Teresa.	30
Figura 20 – Deformação dos materiais.	31
Figura 21 – Viaduto em Aymorés.	31
Figura 22 – Alterno norte, Guayaquil.	32
Figura 23 – Silo no Chile.	32
Figura 24 – Tubulação em Chicago, EUA.	32
Figura 25 – Processo de instalação.	33
Figura 26 – Edifício anexo III antes e depois.	34
Figura 27 – Esquema de conformação do canto.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Softwares e planilhas.	29
Tabela 2 – Custo dos materiais.....	34
Tabela 3 – Custo dos funcionários.....	34
Tabela 4 – Custo dos equipamentos.	35
Tabela 5 – Custos totais.	35
Tabela 6 – Custo dos materiais.....	35
Tabela 7 – Custo dos funcionários.....	36
Tabela 8 – Custo dos equipamentos.	36
Tabela 9 – Custos totais.	36
Tabela 10 – Comparação entre custos.	36
Tabela 11 – Vantagens e desvantagens da aplicação.	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivos gerais	8
1.2 Objetivos específicos	8
2 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS MATERIAIS	9
2.1 Cimento	9
2.1.1 Tipos de cimento	13
2.1.2 Resistência	15
2.2 Fibras	15
2.2.1 Fibras sintéticas	16
2.2.2 Fibra de carbono	16
2.3 Emprego de materiais fibrosos em concreto	19
2.3.1 O concreto com fibras no Brasil e no mundo	20
2.3.2 Propriedades do concreto com fibras	22
3 ESTUDO DE CASOS.....	24
3.1 Ginásio Gilbert Bauvin	24
3.2 Edifício BRS	26
3.3 Viaduto Santa Teresa	30
3.4 Edifício anexo III	33
3.5 Hotel na Barra da Tijuca	34
4 ANÁLISE DOS ESTUDOS	39
5 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	41

1 INTRODUÇÃO

A humanidade está presente na Terra desde o momento em que pequenos sistemas de vida evoluíram. Após esse fato os mesmos passaram a abrigar e se aglomerar por este vasto território e, para que isso ocorresse, era necessário que abrigos surgissem. No início tais abrigos apenas os protegiam das intempéries (tempestade, tormenta, nevasca entre outras adversidades). Depois o local passou a ser usado para viver e conviver com outros seres, guardar alimento e bens de consumo e modo geral, porque erguer moradias passou a ser uma espécie de ciência. É possível assumir que a ciência denominada engenharia civil tenha surgido no Egito, com as pirâmides, entre os anos 4000 e 2000 a.C. depois deste feito grandes construções como a grande muralha da China e as construções romanas vieram desenvolvendo ainda mais a sociedade. Contudo, as grandes construções não tiveram fim e continuam a impressionar a todos até hoje. Para que isso ocorra a engenharia não pode deixar de apresentar inovações.

1.1 Objetivos gerais

Pesquisar a utilização do tecido carbônico, objetivando compreender as vantagens e desvantagens em suas aplicações nas estruturas de concreto armado na construção civil.

1.2 Objetivos específicos

- Fazer um levantamento bibliográfico sobre tecido carbônico, buscando conhecer sua aplicação na construção civil.
- Analisar os estudos de casos presentes na literatura acadêmica, visando compreender o uso.
- Discutir os casos estudados, objetivando apontar as vantagens e desvantagens dessa técnica.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS MATERIAIS

2.1 Cimento

É notório que ao decorrer das décadas as construções passaram a ter um grau de complexidade e se tornaram mais arrojadas, assim, exigindo tecnologias mais avançadas. Neste momento de fragilidade um material surgiu como medida preventiva. Tal composto é denominado cimento. Acredita-se que a utilização mais antiga do cimento tenha sido nas pirâmides do Antigo Egito, quando foi usado um tipo de cimento contendo uma mistura de gesso calcinado que soltava um pó em presença de fogo e endurecia com a ação do sereno. No caso dos romanos menciona-se uma sofisticação na composição. Os construtores urbanos de Roma desenvolveram uma mistura de areia, calcário calcinado, pedaços de “telhas” e cinzas vulcânicas.

Porém, somente no ano de 1758 (século dezoito) que o material voltaria a receber novas características químicas. Foi com a missão imposta ao engenheiro britânico John Smeaton, que buscava desenvolver um cimento que pudesse resistir à ação da água do mar, que a Pozzolana (rochas de origem vulcânica oriunda da Itália) apareceu. As cinzas dessa rocha em meio ao cimento resultam em uma hidratação lenta com baixa liberação de calor e aumento da resistência do concreto aos agentes agressivos.

Outro britânico foi responsável por mais uma alteração. Trata-se de um experimento que teve início no ano de 1796, com James Parker, que gerou calcinação de nódulos de calcário contendo argila. Vinte e oito anos depois, em 1824, o tão conhecido cimento Portland surge. Joseph Aspdin utiliza fornos compridos de alvenarias e temperaturas elevadas para imprimir maior qualidade ao cimento.

Ao decorrer do tempo, novas formulações e o aperfeiçoamento dos fornos industriais determinaram novos tipos de cimento. Formulações e novas maneiras de preparar o composto levam a estudos sistemáticos que buscam materiais de maior resistência e durabilidade. Nos dias atuais é possível ver um processo de fabricação diferente e complexo, porém mantendo parte da nomenclatura antiga- Portland. O processo de fabricação está descrito abaixo.

A principal matéria-prima da fabricação do cimento (calcário, conteúdo em sua composição química cálcio, silício ferro e alumínio) é extraída, da jazida subterrânea

ou a céu aberto por meio de sua mineração, e levada para armazenamento no pátio de pré-homogeneização. A Figura 1 esquematiza o processo descrito anteriormente:

Figura 1 – Jazida a céu aberto e pátio de pré-homogeneização.



Fonte: INDÚSTRIA HOJE.

No moinho de farinha, também conhecido por cru, o calcário é moído junto da argila, aditivos como minérios de ferro, alumínio ou processados. O produto final é um material granulado e muito fino, o qual passa por um filtro que impede a saída para atmosfera e, em seguida, levada e estocada em silos que permitem o subproduto esperar para ser levado ao forno rotativo. É possível entender por conta da Figura 2 :

Figura 2 – Moinho de farinha ou cru.



Fonte: INDÚSTRIA HOJE

Antes de ser introduzida no forno rotativo essa “farinha” passa por um pré-aquecedor também chamado de ciclone para que seja aquecida por gases quentes provenientes do forno que se encontra sob a torre. Quando o produto chega

definitivamente ao forno rotativo com temperaturas entre 900°C e 1450°C para produzir o clínquer. Abaixo, a Figura 3, consta-se os dois equipamentos necessários para a produção do clínquer.

Figura 3 – Aquecedor e forno.



Fonte: INDÚSTRIA HOJE

A clinquerização consiste em elevar a temperatura até a queima do calcário, argila, gesso (responsável pelo tempo de pega), materiais pozolânicos (levam uma maior impermeabilidade ao concreto), filer e escória de alto forno (acrescenta durabilidade e resistência) e materiais carbonáticos (a mistura se torna mais trabalhável). Esta combinação de materiais resultará no clínquer- material em forma de granulados. Para finalizar o processo de fabricação do clínquer, o mesmo é levado ao resfriador, onde a temperatura abaixa 17%. O esquema de um resfriador está sendo demonstrado na Figura 4:

Figura 4 – Resfriador.



Fonte: INDÚSTRIA HOJE

A mistura segue caminho até o moinho de cimento para que os componentes possam ser moídos até a granulometria atingir o nível adequado. O procedimento descrito acima é chamado de moagem. Abaixo, na Figura 5, apresenta-se o esquema ilustrativo do moinho:

Figura 5 – Moinho de cimento.

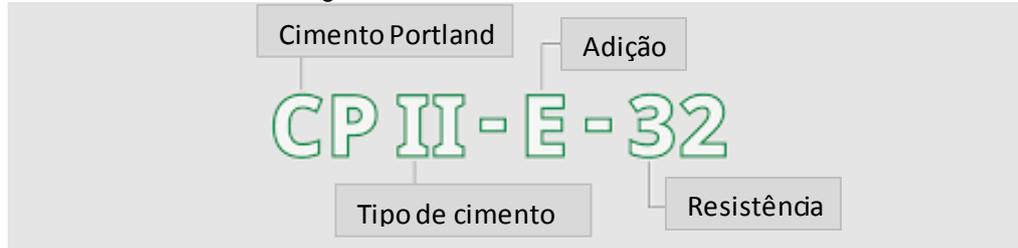


Fonte: INDÚSTRIA HOJE

É notório que com porcentagens diferentes de materiais como calcário, pozolana ou escória, obtém-se uma especificação de cimento própria. Junto das especificações segue a nomenclatura.

A nomenclatura acabou incorporando o nome Portland para designar qual seria o tipo do cimento. Após a sigla CP aparecer, a numeração a qual indica o tipo do cimento, ou seja, suas adições e o número correspondente a uma resistência. A Figura 6, subsequente, exemplifica a normatização do nome:

Figura 6 – Nomenclatura do cimento.



Fonte: Cimento Mauá.

Dentre as diversas formulações químicas e, com isso, diferentes resultados apenas três foram escolhidos para serem apresentados. Os mesmos são: CPI, CII e CP-RS.

2.1.1 Tipos de cimento

O primeiro tipo de cimento que será abordado é chamado de cimento Portland comum (CPI) e possui uma subdivisão por possuir compostos diferentes. As formulações possíveis podem aparecer como o CPI propriamente dito, onde apenas o gesso é adicionado, sendo apenas o retardador da pega, segundo a norma brasileira 5732. Quando o tipo CPI-S, com características similares ao do citado acima, aparece, algumas adições ocorrem. Estas podem ser a adição de escória, pozolana ou filer em até cinco por cento do volume em massa conferindo, desta forma, uma menor permeabilidade no produto final de acordo com a NBR 5732. Os dois tipos citados acima foram escolhidos com o intuito de introduzir previamente o que o cimento pode conter. De acordo com os profissionais da ABCP (associação brasileira de cimento Portland), o CPI e o CPI-S são os tipos mais difíceis de encontrar, pois possuem uma “pureza” quando comparado aos demais, o que faz com que eles sejam produzidos apenas por encomenda.

O segundo tipo de cimento se chama Portland composto e sua sigla é expressa por CII e é considerado o mais fácil de ser encontrado, uma vez que representa quase setenta por cento do cimento produzido no Brasil, segundo os profissionais da ABCP. Neste produto ele sofre, mais uma vez, separação por composto (CII-E; CII-Z; CII-F).

Segundo a NBR 11578, o primeiro tipo é usado quando as estruturas necessitam de um desprendimento lento ou que substâncias contendo sulfatos

possam reagir. O CPlI-E- cimento Portland composto com escória granulada de alto forno- é constituído por clínquer e gesso, variando entre noventa e quatro e sessenta e seis por cento, e de escória granulada de alto forno (um resíduo não metálico obtido a partir da produção de ferro gusa, segundo Karen Costa Keles, mestre em engenharia de materiais pela REDEMAT- Universidade Federal de Ouro Preto) entre seis e trinta e quatro por cento.

No caso do cimento Portland composto com pozolana (CPlI-Z) o mesmo é usado em obras industriais, subterrâneas e marítimas, pois em sua composição consta uma porcentagem entre seis e quatorze por cento de pozolana e fará com que o produto final receba um acréscimo de impermeabilidade e durabilidade.

O último tipo de cimento Portland adquiriu filler em sua composição (matéria-prima denominada pó de calcário, que não precisa passar por tratamento térmico-calcinação- como disse Vanderley Moacyr John, professor do Departamento de Engenharia de construção civil da Escola Politécnica da USP) com uma porcentagem compreendida entre seis e dez. Quando o cimento recebe adição de filler o mesmo poderá ser requerido no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, pisos e pavimentos de concreto além de estruturas de concreto armado uma vez que neste caso o material vem a ser menos poroso e flui com pouca água, como disse Rafael Pileggi, professor da Poli-USP.

O último tipo de cimento escolhido foi o Portland resistente a sulfatos (CP-RS). Sua definição segundo a ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas é: “Aglomerante hidráulico que atenda à condição de resistência dos sulfatos, obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio”. Para considerar um material resistente aos sulfatos, estes devem seguir as normas NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735, NBR 5736 ou NBR 11578 junto das requisições abaixo. Requisições como:

- Os cimentos cujo teor de C^3Al (aluminato de cálcio) do clínquer seja igual ou inferior a oito por cento e cujo teor de adições carbonáticas seja igual ou inferior a cinco por cento da massa do aglomerante total e/ou;
- Os cimentos Portland de alto forno (CPIII) cujo teor de escória granulada de alto forno esteja entre sessenta e setenta por cento e/ou;
- Os Cimentos Portland pozolânicos esteja entre vinte e cinco e quarenta por cento e/ou;

- Os cimentos que tenham antecedentes com base em resultados de ensaio de longa duração ou referências de obras que comprovadamente indiquem resistência a sulfatos.

Este tipo de cimento é requisitado quando as obras possuem ambiente agressivo como redes de esgotos de águas servidas, industriais ou do mar. São, então, indicados para concretos de alto desempenho, armados, projetados ou protendido, segundo Veríssimo.

2.1.2 Resistência

É notória a existência de um número seguido da nomenclatura. Este número expressa a resistência da compressão mínima que o cimento deverá ter durante um período de vinte e oito dias (a unidade utilizada vem a ser o megapascal, segundo tradução do Inmetro- instituto nacional de metrologia qualidade e tecnologia- sobre os dados publicados pelo SI- sistema internacional de unidades). Segundo Pereira (2013), as resistências existentes são: vinte e cinco; trinta e dois e quarenta megapascals.

2.2 Fibras

É de conhecimento geral que os compostos citados anteriormente são de suma importância para o universo da engenharia civil. Porém, percebe-se que muitos estudos buscam aprimorar ainda mais os resultados satisfatórios. Para que tal evento pudesse começar a ocorrer, a indústria têxtil apareceu como reforço. De acordo com o IEL (2000, p.21) a cadeia produtiva têxtil integra a produção de fibras (sintéticas, artificiais e naturais), fiação, tecelagem e malharia, estamparia, acabamento/beneficiamento abastecendo as indústrias do setor de confecções.

Desta forma percebe-se que nem toda a cadeia têxtil seria requerida. Porém, o SEBRAE e o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2001, p.5) afirma: “cada um destes segmentos pode oferecer ao mercado um produto acabado e pode, na prática, estar desconectado dos demais”.

Sendo assim, é possível comentar sobre um segmento. O ramo escolhido foi o das fibras. “As fibras têxteis são elementos filiformes caracterizados pela flexibilidade,

finura e grande comprimento em relação à dimensão transversal máxima, sendo aptas para aplicações têxteis” (ARAÚJO, Mário Duarte de; CASTRO, Ernesto Manuel de Melo e, 1984, p.1).

As fibras são classificadas seguindo um critério baseado em suas várias origens. Estas são: naturais- produzidas pela natureza e recebem um processamento que as torna aptas para o têxtil; não naturais- produzidas por processos industriais, podendo ser a partir de polímeros naturais e reagentes químicos (artificiais) ou síntese química (sintéticos) (ARAÚJO; CASTRO, 1984).

2.2.1 Fibras sintéticas

Para o trabalho atual, percebe-se que o foco deve ser com as fibras não naturais a partir da síntese química. “As fibras sintéticas são produzidas a partir de resinas derivadas do petróleo” (DOLZAN, 2004, p.29).

Após a obtenção o petróleo passará por tratamento. “o processo de produção das fibras sintéticas se inicia com a transformação da nafta petroquímica, um derivado do petróleo, em benzeno, eteno, p-xileno e propeno, produtos intermediários da camada primeira geração petroquímica e insumos básicos para a produção destas fibras” (ABRAFAS, 2018).

Acredita-se que no espaço amostral das manufaturas, onde há um número considerável de produtos, o material denominado poliéster (PES) possui dados estatísticos de demanda e consumo que ultrapassam mais da metade de todas as outras fibras químicas do setor têxtil (DOLZAN, 2004). O poliéster pode ser usado como matéria prima de outra fibra. A mesma vem a ser: fibra de carbono.

2.2.2 Fibra de carbono

“A fibra de carbono é um material altamente favorável e promissor, baseado na força das ligações carbono-carbono e na leveza do átomo de carbono (TAYLOR, 1994). As fibras de carbono são caracterizadas por uma combinação de baixo peso molecular, alta resistência mecânica e elevada rigidez. O seu alto módulo de elasticidade e, de certa forma, alta resistência dependem do grau de orientação das fibras, isto é, do paralelismo entre os eixos das fibras, conforme Schwartz (1984).”

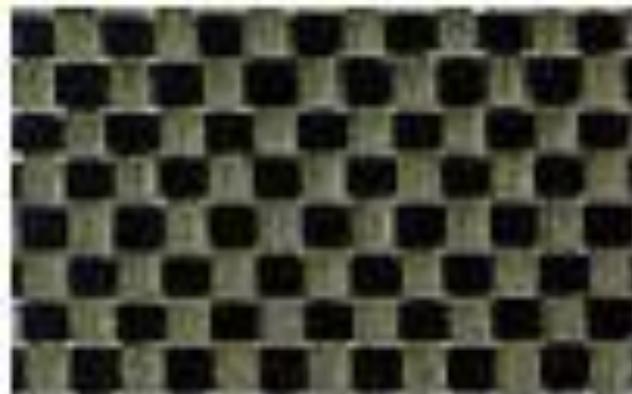
Ainda de acordo com Schwartz, todas as fibras de carbono são fabricadas através da pirólise (processo pelo qual a matéria orgânica passa e é decomposta após passar por condições onde o ambiente contém altas temperaturas- entre mil e três mil graus Celsius- e oxigênio inexistente) de fibras orgânicas em uma atmosfera inerte (desprovido de atividade). As Figuras 7 e 8 são expostas com a finalidade de exemplificar uma fibra de carbono:

Figura 7 – Fibra de carbono.



Fonte: autoria própria

Figura 8 – Fibra de carbono orientada.



Fonte: MOREIRA 2008.

Durante os primeiros testes foram poucas as fibras que apresentaram resultados satisfatórios para com o processo, ou seja, produtos filamentosos compostos por mais de noventa por cento de carbono e diâmetro entre cinco e quinze micrômetros. Tais fibras foram: Rayon, poliácridonitrila, mais conhecida como PAN, e piche (LUBIN, 1969). Ao passar dos anos o poliéster também entrou na lista destes materiais.

A primeira vez que o carbono foi obtido a partir de outra fibra data-se dos anos de 1950 para aplicação nos mísseis que continham temperaturas elevadas (LEBRÃO, 2008). Para se adequar às normas exigidas para tal aplicação o Rayon foi usado. “Sua fabricação consiste em esticar as fibras em várias vezes o seu comprimento original sob temperaturas acima de 2800°C” (BEBER, 2003, p.26). Entretanto, acredita-se que alguns motivos levaram os pesquisadores a pensarem fibras substitutas para o Rayon. Os motivos, ainda segundo Beber, foram: alto custo de processo e a incerteza quanto à fácil obtenção de matéria-prima.

Já a segunda geração de fibras de carbono é fabricada a partir de fibras sintéticas de poliacrilonitrila ou PAN e alcançou um amplo mercado com a ideia de que o processo tem sofrido mudanças com as quais fariam a eficiência, o módulo e as resistências, tanto à tração quanto à manipulação, aumentarem e as deformações e falhas decrescerem (WIEBECK, 2005). Tais características são alcançadas após o processamento deste material. Segundo Beber (2003, p.26), o processo é:

“Ao mesmo tempo em que são transformadas em fios, as fibras são esticadas para que as cadeias moleculares se alinhem paralelamente ao eixo das fibras. PAN é então aquecida até duzentos e cinquenta graus em um ambiente de oxigênio onde absorve energia e ganha em resistência. A carbonização da fibra começa quando o polímero, sem tensão, é aquecido em uma atmosfera inerte. Quando maior a energia de aquecimento fornecida ao filamento de carbono, mais alta será a sua rigidez”.

No entanto, houve uma alteração na matéria-prima. Acredita-se que os pesquisadores, durante os anos de 1970, foram atrás de um novo material. Este material não deveria conter despesas elevadas quando comparado aos anteriores. Com isso, é notório que para atender a essa necessidade os materiais carbonosos são os mais indicados. De acordo com Valentim (2013, p.26):

“Os materiais constituídos, principalmente, do elemento carbono, tais como o piche o alcatrão e o petróleo, combinados a outros elementos como oxigênio, hidrogênio e enxofre, além de componentes minerais, são chamados de materiais carbonosos.”

Dentre os materiais apresentados o piche foi escolhido, porque apresenta em sua composição elementos como naftaleno, fenantreno, pireno, dimetilnaftaleno, antraceno entre outros complexos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e compostos heterocíclicos. Percebe-se que, desta forma, aspectos como ponto de ebulição e características físicas mudam. O piche se solidifica e não sofre com

cristalização após resfriamento. Comparando-se os custos dos processos é possível dizer que este pode ser mais em conta do que os dois compostos anteriormente descritos. O problema se dá quando a resistência à compressão não atinge resultados adequados e para isso o produto tenha que passar por purificação (o que encarece). Momentos assim podem gerar uma falta para com aceitação e crescimento da fibra de carbono (LUBIN, 1969).

2.3 Emprego de materiais fibrosos em concreto

Como foi possível de se observar, o concreto é um material o qual possui características que lhe permite abundância com relação ao volume de uso. Isto ocorre porque o mesmo tem como características: boa resistência ao fogo e à compressão, boa relação custo-alta durabilidade, versatilidade arquitetônica, bom controle acústico, entre outros.

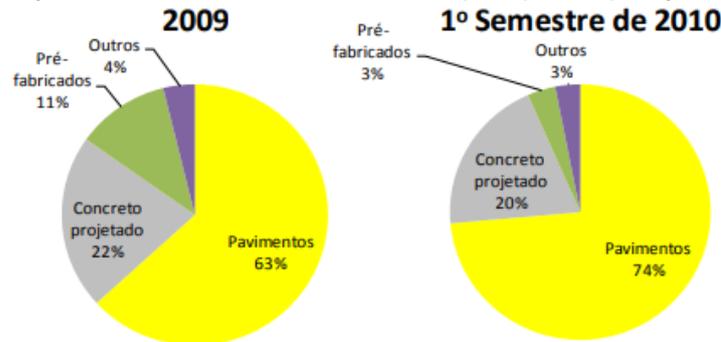
Apesar disso, este composto compreende aspectos como: comportamento mais frágil e baixa capacidade de deformação do material antes de sofrer ruptura. Isto comprova que o cimento não é à prova de falhas pós-aplicações.

Para contornar ou até mesmo converter estes problemas em pontos positivos é de fácil compreensão que acrescentar outros materiais os resultados podem ser satisfatórios. A ideia de se misturar tanto fibras quanto barras ou fios de aço com concreto é chamada de compósito. Em seguida o mesmo sofre alteração no nome, pois a formação desse tipo de concreto é denominada concreto reforçado com fibras ou CRF. Segundo o jornalista Altair Santos, o engenheiro Jorge Aoki indica a notoriedade para com os resultados mais aceitáveis e o número de empreendimentos buscando conhecer o produto que vem aumentando progressivamente ao redor do globo, incluindo o Brasil.

2.3.1 O concreto com fibras no Brasil e no mundo

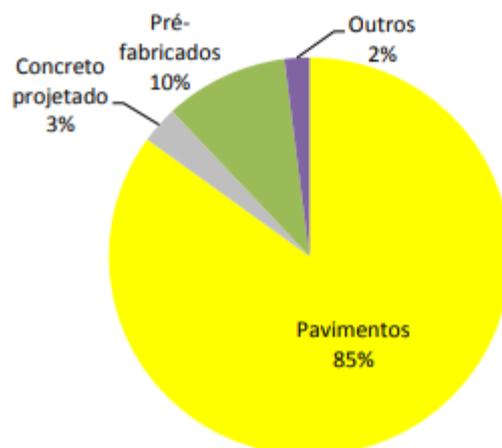
As principais aplicações da tecnologia CRF estão associadas a obras que possuem uma vasta demanda social e que podem ser caracterizadas como carência partindo da sociedade brasileira como, por exemplo: obras de infraestrutura, saneamento básico e de transporte. Nos dias atuais o mercado brasileiro de fibras tem a tendência de ser mais utilizado nas aplicações de baixo consumo e em estruturas contínuas (FIGUEIREDO, 2011). Em um estudo realizado por Antônio Domingues de Figueiredo, livre docência pela universidade de São Paulo (USP), junto aos principais fabricantes e representantes nacionais de fibras para reforço do concreto foi possível perceber aplicações muito concentradas. De acordo com as Figuras 9 e 10, é possível comparar os números ao longo dos anos.

Figura 9 – Distribuição do mercado brasileiro de fibras por tipo de aplicação entre 2009 e 2010.



Fonte: FIGUEIREDO, 2011.

Figura 10 – Distribuição do mercado por tipo de aplicação que se manteve constante nos anos de 2009 e 2010.



Fonte: FIGUEIREDO, 2011.

Acredita-se, porém, que estes dados foram alterados dadas as necessidades de obras de saneamento básico e de sistemas de transporte de massa com o passar dos anos. Todavia, é de conhecimento geral que para atingir o patamar descrito anteriormente as dificuldades tecnológicas (embasamento técnico, carência normativa, carência de número de pesquisadores atuando sistematicamente e grande dificuldade de transferência dos resultados obtidos para o universo produtivo) devem ser extintas. Deste modo a aplicação do CRF deixará de ser empírica e passará a ser vista como uma técnica amadurecida do ponto de vista de engenharia nas condições nacionais. Enquanto o amadurecimento não aparece, o estudo do compósito é liderado pelo continente europeu e pelos Estados Unidos onde a utilização busca reforço de lajes suspensas de edifícios.

O material escolhido para o atual trabalho foi a fibra de carbono. Segundo Accetti e Pinheiro (2000) o uso de fibras em concreto surgiu em 1911, quando Graham sugeriu o uso de fibras de aço em conjunto com a armadura convencional, com o objetivo de aumentar a resistência do concreto armado. Entretanto, somente na década de 60 começou o desenvolvimento de caráter técnico e científico e surgiram muitas aplicações práticas do concreto com fibras, e uma certa variedade de fibras apareceram no mercado.

Mehta e Monteiro (2008) mencionaram que o primeiro concreto com fibras utilizadas com fim estrutural foi feito no ano de 1971, para a produção de painéis desmontáveis (3250 mm² de 65 mm de espessura). Tal compósito obtinha em sua composição: três por cento de massa de fibra de aço estiradas a frio. Os painéis foram utilizados na garagem do estacionamento do aeroporto de Heathrow, em Londres.

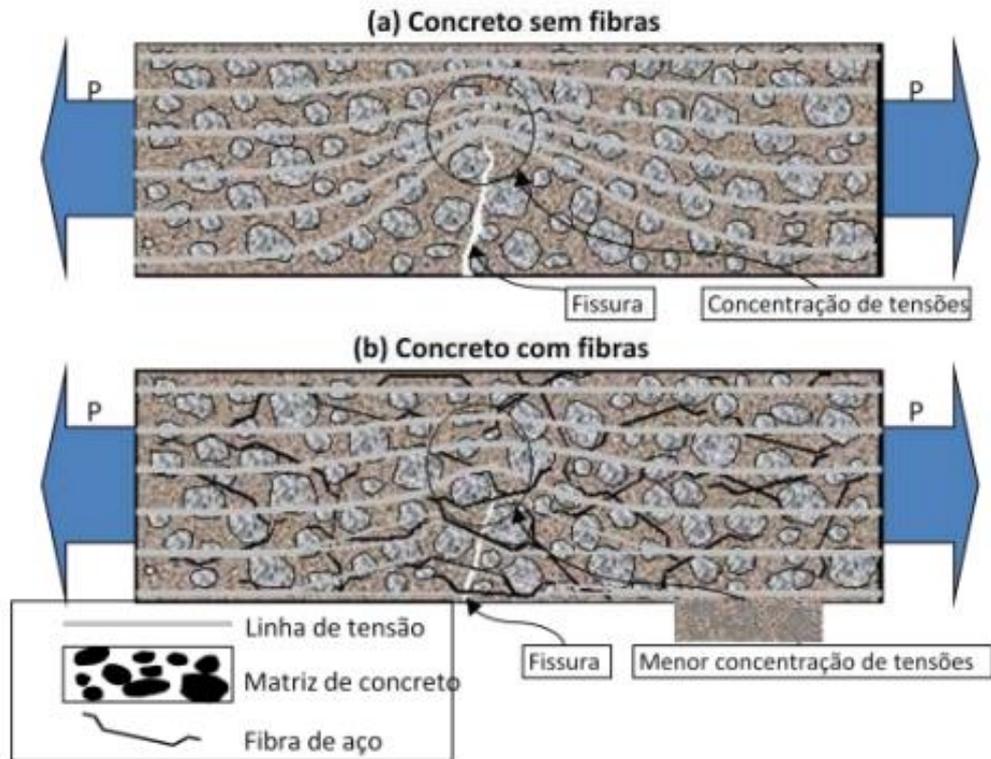
De acordo com Serna (2007), as fibras podem ser aplicadas com mais propriedade em elementos onde a distribuição de tensões é muito variável (pavimentos, revestimentos de túneis, elementos muito armados com longa distância entre eles, elementos com pouca espessura e até mesmo em elementos pouco armados).

2.3.2 Propriedades do concreto com fibras

Sabe-se que a formação do concreto vem a ser: cimento, água, agregados miúdos, agregados graúdos, fibras, em alguns casos aditivos químicos e adições minerais. Como disse Oliveira (2005) não há restrição quanto ao tipo do cimento, entretanto o mesmo deve ser enquadrado conforme a utilização e a resistência. O que se deve ser levado em consideração e ser cauteloso é para com as dimensões dos agregados, uma vez que, segundo Figueiredo (2000), quanto maior as proporções dos agregados, maiores podem ser os problemas de interposição fibra-agregado e, desta forma, participar de modo indevido no efeito favorável do uso das fibras. No concreto comum, esquematizado na figura 2a, uma fissura pode proporcionar uma barreira à propagação provenientes das tensões de tração, representadas de maneira simples pelas linhas de tensão. Caso ocorram desvios das linhas de tensão, a concentração do esforço será deslocada para as extremidades até que a tensão crítica seja alcançada. Quando isso ocorre, o material atinge a fadiga e, ao mesmo tempo, ruptura abrupta do material.

Quando se acrescentam fibras de resistência e módulo de elasticidade adequada juntamente de um teor apropriado, o concreto deixa de ter o caráter frágil. Isso ocorre pelo fato de a fibra adquirir a função de uma ponte de transferência de tensões pelas fissuras. Então, a velocidade de propagação das fissuras que percorrem pelo compósito sofre redução por conta desta certa capacidade resistente após fissuração (MINDESS, 1995). Deve-se levar em consideração que o dimensionamento do agregado graúdo é um item relevante. O American Concrete Institute (ACI)- committee 544 (1987), o instituto americano de concreto, aconselha a utilização de agregado com diâmetro em torno de dez milímetros, limitando esse valor até dezenove milímetros por conta das dificuldades geradas para com a homogeneização do concreto. O resultado tende a ser satisfatório a ponto de ser utilizado em meio ao concreto convencionalmente armado (LI, 1992). A Figura 11 esquematiza o efeito causado no material.

Figura 11 – Esquema de concentração de tensões para um concreto sem fibras (a) e concreto com reforço de fibras (b).



Fonte: FIGUEIREDO, 2011.

3 ESTUDO DE CASOS

Neste estudo e caso, são apresentados alguns projetos contendo o material para reforço de estruturas de concreto. Percebe-se a necessidade de algum exemplo real, onde a aplicação do material carbônico realmente acontece e passa por análise para que se possa concordar ou não com sua utilização. Os casos apresentados a seguir são tanto projetos nacionais quanto projetos internacionais. Em meio a eles estão: o Ginásio poliesportivo Gilbert Bauvin, o edifício BRS, viaduto Santa Teresa, edifício da secretaria da fazenda, hotel da Barra da Tijuca.

3.1 Ginásio Gilbert Bauvin

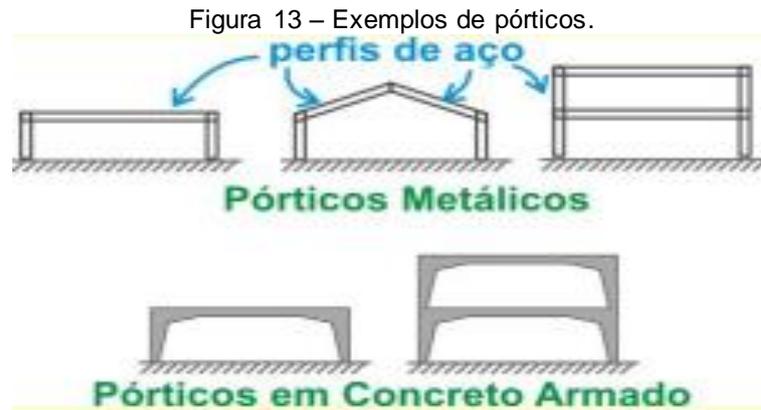
Figura 12 – Ginásio Gilbert Bauvin.



Fonte: VILLERS LÉS NANCY.

O primeiro caso é o do ginásio Gilbert Bauvin. Este ginásio poliesportivo, ilustrado a seguir, foi construído em 1959 e está localizado em Villers- lés-Nancy, na França.

A infraestrutura desta obra constava um estado de fissuração preocupante nos pórticos (definição da engenharia estrutural: “Forma compostas por elementos lineares (normalmente vigas e colunas), conectados em suas extremidades de forma a não permitir rotações relativas (conexões rígidas). Pórticos são capazes de resistir esforços normais, cortantes e, principalmente, aos esforços de flexão. Nas edificações, normalmente são utilizados em um padrão com repetições, resultando em estruturas hiperestáticas”). Abaixo, uma figura demonstrando o que vem a ser um pórtico.

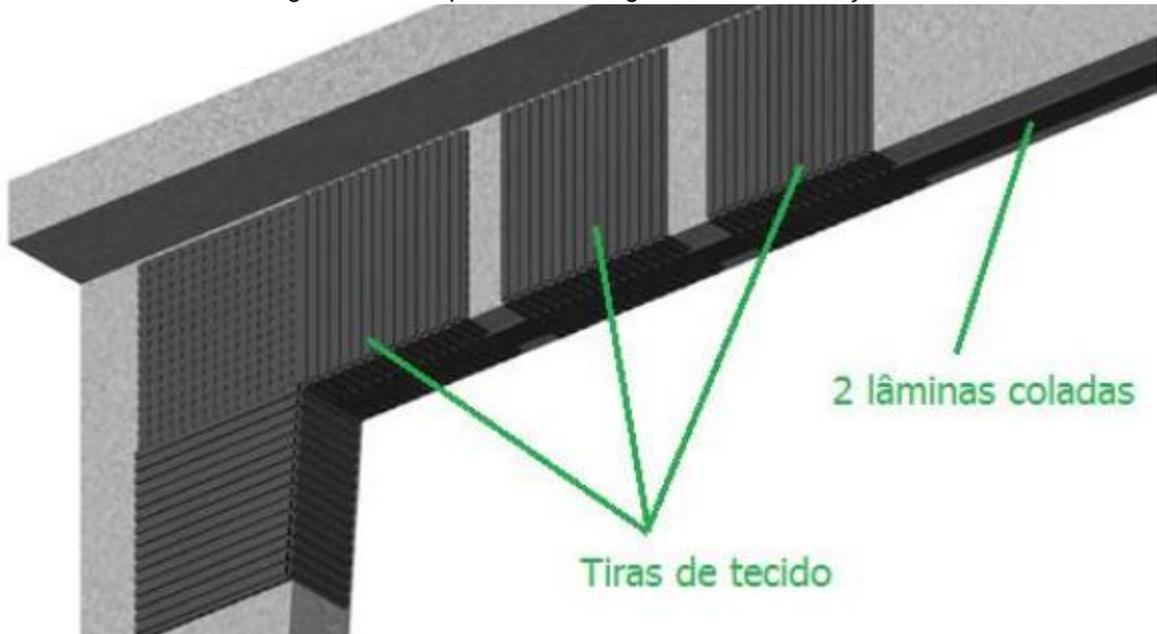


Fonte: NORONHA, 2014.

É de fácil compreensão que essas fissuras podem ter origens variadas ou ser a somatória de vários outros fatores. Dentre eles estão: a fluência do concreto relativamente antigo e desgastado; uma viga de vão com dimensões desproporcionais, ou seja, possui uma deformação no centro enquanto os pilares são rígidos e pouco deformáveis; ou a própria armadura ser insuficiente, o que a pacometria- ensaio não destrutivo que determina a quantidade de armadura e o cobrimento de concreto em artigos de concreto armado- pôde demonstrar logo após ser feito pela empresa Masterdiag. O resultado encontrado pela empresa apontou um comprimento de ancoragem insuficiente da armadura dentro do pilar.

Para que o problema não atingisse maiores proporções e, assim, evitar desastres o escritório Sarl Clair Equeaux foi solicitado e realizou os cálculos necessários para a efetiva instalação do reforço com fibras de carbono. Com isso, o veredito final foi dado e junto dele a especificação que cuidará tanto do reforço quanto do cisalhamento, que implica em: duas lâminas de CFC coladas lado a lado na base da viga e três tiras de tecido envolvendo a viga em forma de U, em cada extremidade. Na Figura 14 é possível ver a representação 3D do reforço da viga.

Figura 14 – Esquema 3D da viga recebendo reforço.



Fonte: BORGES, 2016.

3.2 Edifício BRS

O segundo objeto de estudo vem a ser a viga VD815- Edifício BRS. Tal edifício se encontrava em uma situação onde a carga proveniente não é a mais adequada, uma vez que anteriormente existia uma laje que suportava uma caixa d'água e passou a ser um vazio. Com isso, é possível perceber que as cargas distribuídas são consideradas altas. Para que o problema pudesse começar a ser controlado, a Simetria Engenharia realizou o cálculo estrutural da planta e, em seguida, o dimensionamento para que o escritório pudesse receber o reforço compósito de fibra de carbono.

Os cálculos estruturais citados anteriormente foram feitos focados na resistência à tração e ao cisalhamento.

- **Resistência mecânica:** as principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade.
 1. Resistência à compressão: o ensaio busca determinar a resistência à compressão simples sem confinamento lateral, isto é, o valor que corresponde à carga que rompe um cilindro, de

constituído de qualquer material, submetido à uma carga axial-carga direcionada ao longo do membro (BUFFONI, p. 9). Segue abaixo, Figura 15, a esquematização de um ensaio de compressão.

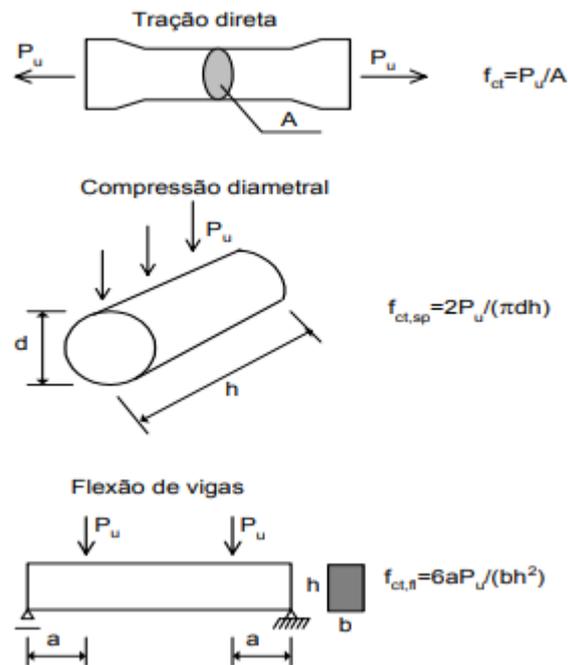
Figura 15 – Ensaio de compressão.



Fonte: BASTOS, 2013.

2. Resistência à tração: a resistência à tração de um concreto pode ser encontrada através de três tipos de ensaios: tração direta, por compressão diametral e na flexão. Por outro lado, percebe-se que utilizando diferentes métodos, é possível encontrar resultados diferentes para o mesmo artigo (RAPHAEL, 1984). Para que se possa ter uma melhor compreensão sobre as definições, a imagem Figura 16 é exposta:

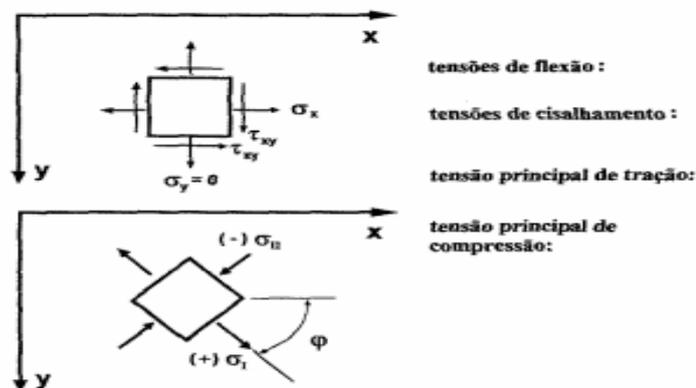
Figura 16 – Tipos de resistência à tração.



Fonte: ARAÚJO, 2001.

- **Cisalhamento:** também chamada de tensão de corte é considerada tensão gerada por forças aplicadas em sentidos opostos, mas direções semelhantes, no material analisado, ou seja, pode ser considerado como resultado da combinação das tensões principais, como representado na Figura 17:

Figura 17 – Tensão de cisalhamento.



Fonte: OLIVEIRA, 1999.

Com isso, é possível notar que os testes acima foram utilizados na estrutura do edifício BRS. Os mesmos foram verificados em diferentes softwares: TQS (TQS informática Ltda.), ELS (*extreme loading structures*), LaSoft, Sika Carbodur. Estes softwares se especializam nos cálculos estruturais de concreto armado, concreto protendido, alvenaria estrutural e estruturas pré-moldadas e as planilhas utilizadas para os cálculos FIB e ACI.

Os dimensionamentos dos reforços aplicáveis, segundo as ferramentas descritas anteriormente, foram coletados e, com eles, é possível comparar a área de atuação. Abaixo, na Tabela 1, constam os resultados de cada software e planilha.

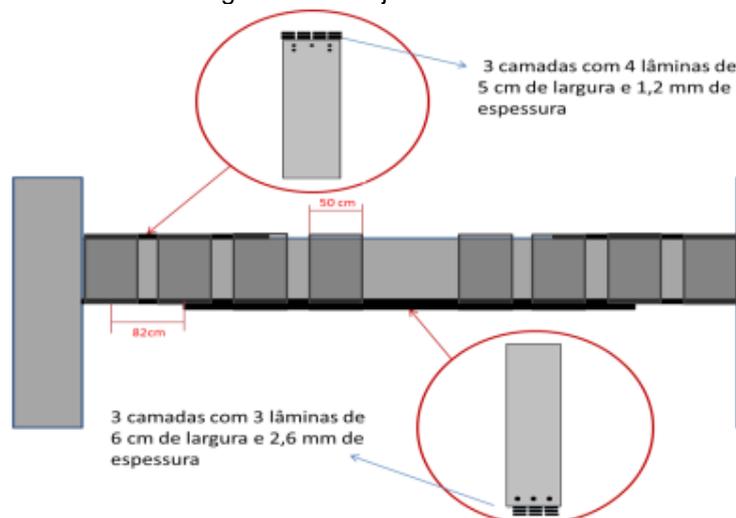
Tabela 1 – Softwares e planilhas.

	Planilha FIB	Planilha ACI	LaSoft	SikaCarbodur
Esquerda	5,2 cm ²	7,0 cm ²	5,8 cm ²	7,20 cm ²
Centro	6,9 cm ²	14,36 cm ²	7,84 cm ²	>14,04 cm ² (máx. do software)

Fonte: BORGES, 2016.

É fácil compreender que ao se combinar o composto carbônico às edificações ou demais projetos a resistência aumenta, porém a quantidade de material também influencia o resultado final. Desta forma, é de fácil entendimento que a planilha ACI, proveniente da norma ACI- 318-9.3.3 geraram resultados mais satisfatórios. Abaixo, na Figura 18, consta o número de camadas, espessura do material, largura e como ficaria em meio ao projeto.

Figura 18 – Projeto final no edifício.



Fonte: BORGES, 2016.

Analisando a imagem e os resultados, nota-se um elemento bem estruturado e que chama atenção por ser de fácil aplicação e não destrutivo. Todavia, como o valor da sobrecarga foi elevado, as lâminas acabaram possuindo dimensões elevadas. Isto somado ao fato de essa opção ser pouco difundida e escassa no mercado brasileiro o torna uma opção economicamente duvidosa.

Mesmo sendo um material cujos testes são limitados, no que se refere à quantidade de dados técnicos, algumas cidades do território brasileiro se arriscaram e aplicaram a estrutura como uma medida alternativa em meio às novas necessidades estruturais, isto é, fazer com que as estruturas transfiram, espalhem ou até mesmo dissipem os esforços mecânicos cada vez maiores aplicados em meio às estruturas.

3.3 Viaduto Santa Teresa

Sabe-se que o número de pessoas cresce cada vez mais com o passar dos anos e ligado diretamente a esse fato está a constante circulação de veículos automotores nas pistas, estradas, rodovias, entre outras vias. Portanto, como terceiro estudo se apresenta o sistema do ano de 1998 que pôde ser aplicado, de forma pioneira, no viaduto de Santa Teresa localizado na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Tal viaduto aparece na Figura 19.

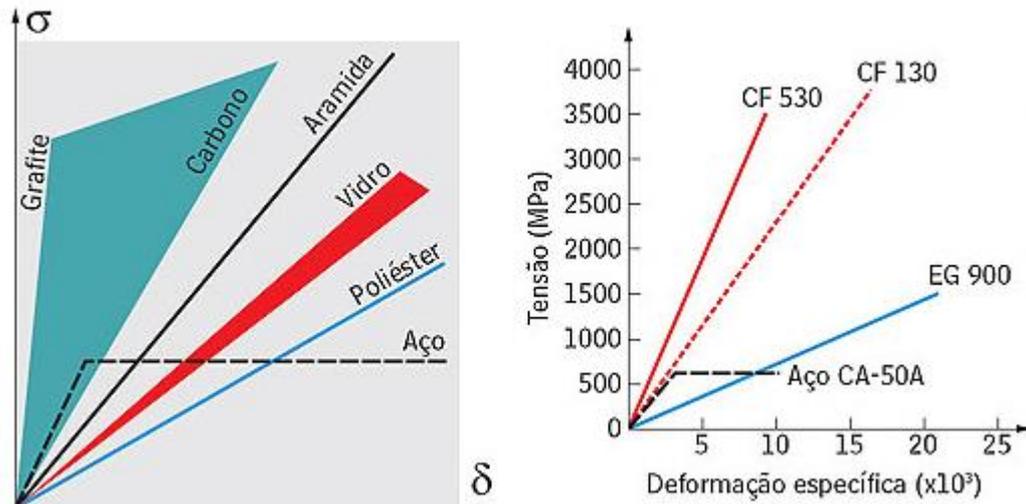
Figura 19 – Viaduto de Santa Teresa.



Fonte: TÉCHNE, 2007.

Os resultados obtidos após as aplicações naquela ocasião se destacaram, porque o diagrama (tensão x deformação) permitiu perceber que o aço sofre deformação até romper em determinada tensão e, depois, estabiliza. Já no caso do carbono a deformação é crescente e não estabiliza como pode ser observado na Figura 20:

Figura 20 – Deformação dos materiais.



Fonte: MEU MATERIAL, 2007.

Estes valores chamaram a atenção dos engenheiros, que logo reproduziram os reforços em outros viadutos e em reforços diversos. Dentre eles estão: viaduto urbano e ferroviário em Aymorés- MG, viaduto alterno norte em Guayaquil-EQ, um silo no Chile e até mesmo uma tubulação em Chicago, EUA. Seguem as fotos que representam, respectivamente, essas construções (Figuras 21, 22, 23 e 24).

Figura 21 – Viaduto em Aymorés.



Fonte: MACHADO, 2005.

Figura 22 – Alterno norte, Guayaquil.



Fonte: MACHADO, 2005

Figura 23 – Silo no Chile.



Fonte: MACHADO, 2005

Figura 24 – Tubulação em Chicago, EUA.

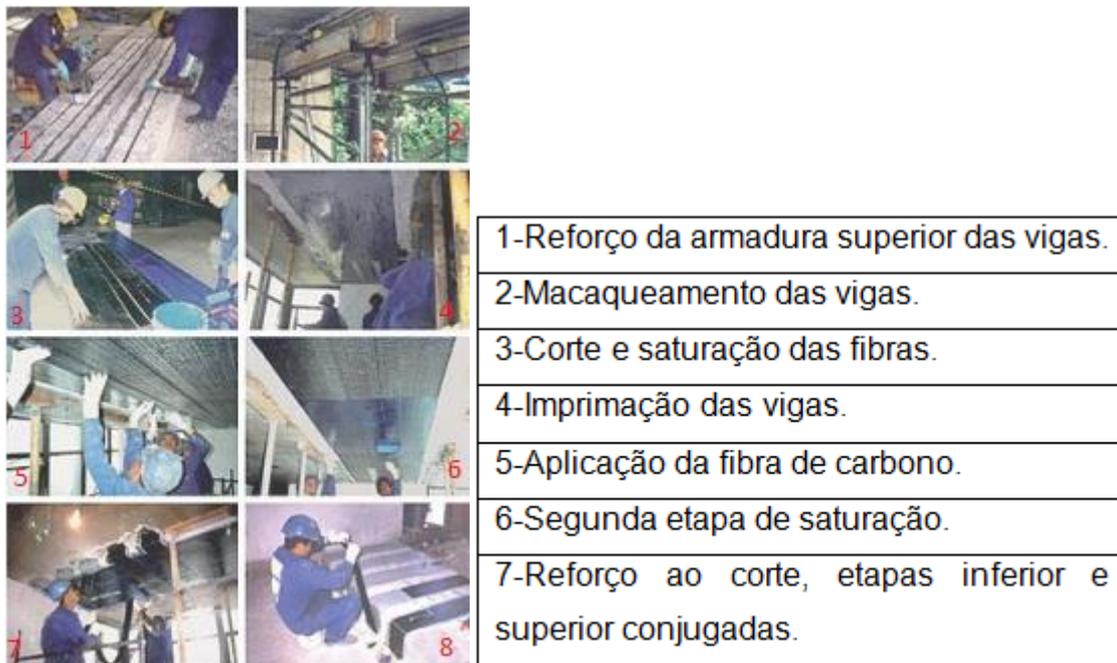


Fonte: MACHADO, 2005

3.4 Edifício anexo III

A quarta exemplificação a receber o composto carbônico, foi um monumento. O mesmo vem a ser o edifício do anexo três da secretaria da fazenda do estado de Minas Gerais. Desta vez o objetivo da aplicação foi fortificar as estruturas de concreto armado da edificação com o intuito de reabilitar as deficiências apresentadas no início do projeto. O processo de instalação para os 13 pavimentos do bloco principal do edifício recebeu 710 metros quadrados de membrana e a sequência correta das etapas da montagem constam na Figura 25.

Figura 25 – Processo de instalação.



Fonte: TÉCHNE, 2007.

Percebeu-se que o objetivo principal da hospedagem do carbono foi atingido, pois se desejava um acréscimo na resistência do concreto, ou seja, aumento da carga accidental. O resultado anterior era de 150 kgf/m² e assim que o compósito entrou na edificação o resultado obtido dobrou de valor, isto é, passou a ser 300 kgf/m². Com estes resultados o projeto recebeu o prêmio de excelência em reforço do *international concrete repair institute* (ICRI), em tradução livre, instituto internacional de reparação de concreto. A Figura 26 mostra o antes e depois do prédio da secretaria da fazenda.

Figura 26 – Edifício anexo III antes e depois.



Fonte: TÉCHNE, 2007.

3.5 Hotel na Barra da Tijuca

Dentro do quinto estudo de caso será possível encontrar dois projetos diferentes em um mesmo hotel que se encontra na Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro. O primeiro projeto consiste em adicionar armadura e graute- pasta de argamassa utilizada no preenchimento de espaços vazios em locais de acesso dificultoso, eliminando a necessidade do uso de vibradores para o adensamento (Pereira, 2018)- enquanto o outro propõe a adição de fibra de carbono à laje. No seguinte caso, a análise passou a ser com relação aos preços, número de trabalhadores e tempo de execução.

Calculou-se a quantidade de material, mão de obra e equipamentos para se produzir o projeto com a adição de armadura e graute. Os valores estão explícitos entre as Tabelas 2 e Tabela 10:

Tabela 2 – Custo dos materiais.

Material	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Aço	596,59 kg	R\$ 3,790/kg	R\$2261,080
Graute	1540 kg	R\$0,984/kg	R\$1515,360
Madeira	38, 50 m ²	R\$53,680/m ²	R\$2066,680

Fonte: BRONZE, 2016.

Tabela 3 – Custo dos funcionários.

Função	Qtd	Salário	X fator (1,9)	X dias (0,45)	Auxílio	Total
Encarregado	1	R\$2000,00	R\$3800,00	R\$1729,00	R\$343,00	R\$2072,00
Pedreiro	1	R\$1707,70	R\$3244,63	R\$1476,31	R\$343,00	R\$1819,31
Carpinteiro	1	R\$1707,70	R\$3244,63	R\$1476,31	R\$343,00	R\$1819,31
Armador	1	R\$1707,70	R\$3244,63	R\$1476,31	R\$343,00	R\$1819,31
Ajudante	2	R\$2336,40	R\$4439,16	R\$2019,82	R\$686,00	R\$1819,31

Fonte: BRONZE, 2016.

Tabela 4 – Custo dos equipamentos.

Equipamento	Quantidade	Preço (15 dias)
Martelete	2	R\$300,00
Serra circular	1	R\$45,50
Andaimes	2 torres	R\$150,00
Escoras	30	R\$290,00

Fonte: BRONZE, 2016.

Tabela 5 – Custos totais.

Materiais	R\$ 5843,12
Mão de obra	R\$10235,75
Equipamentos	R\$785,00
Custo total	R\$ 16863,87

Fonte: BRONZE, 2016.

Para que a segunda opção de projeto pudesse ser apresentada, a mesma passou pelo estudo quantitativo para, depois, servir de efeito comparativo.

Tabela 6 – Custo dos materiais.

Material	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Fibra de carbono	15,00 m ²	R\$49,30/m ²	R\$739,50
Resina de impregnação	1,60kg	R\$51,40/kg	R\$82,24
Resina de laminação	12,75kg	R\$61,10/kg	R\$785,40
Resina de regularização	2,00kg	R\$57,80/kg	R\$115,60

Fonte: BRONZE, 2016.

Tabela 7 – Custo dos funcionários.

Função	Qtd	Salário	x Fator (1,90)	x Dias (0,23)	Auxílio	Total
Encarregado	1	R\$2000,00	R\$3800,00	R\$863,64	R\$170,50	R\$1034,14
Pedreiro	1	R\$1707,07	R\$3244,63	R\$736,53	R\$170,50	R\$907,03
Ajudante	1	R\$1168,20	R\$2219,58	R\$503,84	R\$170,50	R\$674,34

Fonte: BRONZE, 2016.

Tabela 8 – Custo dos equipamentos.

Equipamento	Quantidade	Preço (15 dias)
Lixadeira	1	R\$100,00
Andaimes	2 torres	R\$150,00

Fonte: BRONZE, 2016.

Tabela 9 – Custos totais.

Materiais	R\$1722,74
Mão de obra	R\$2615,51
Equipamentos	R\$250,00
Custo total	R\$4588,25

Fonte: BRONZE, 2016.

Ao término dos cálculos, é feita a análise dos dois projetos e, em seguida, a comparação entre os projetos. Portanto, é feito um resumo com os dados quantitativos e qualitativos tomando-os como vantagens e desvantagens. Tais dados estão representados na Tabela 10, junto da conclusão do estudo prático e teórico do hotel da cidade do Rio.

Tabela 10 – Comparação entre custos.

	Armadura e graute	Fibra de carbono
Materiais	R\$5843,12	R\$1722,74
Mão de obra	R\$10235,75	R\$2615,51
Equipamentos	R\$785,00	R\$250,00
Custo total	R\$16863,87	R\$4588,25
Funcionários	6 funcionários	3 funcionários
Prazo	2 semanas	1 semana

Fonte: BRONZE, 2016.

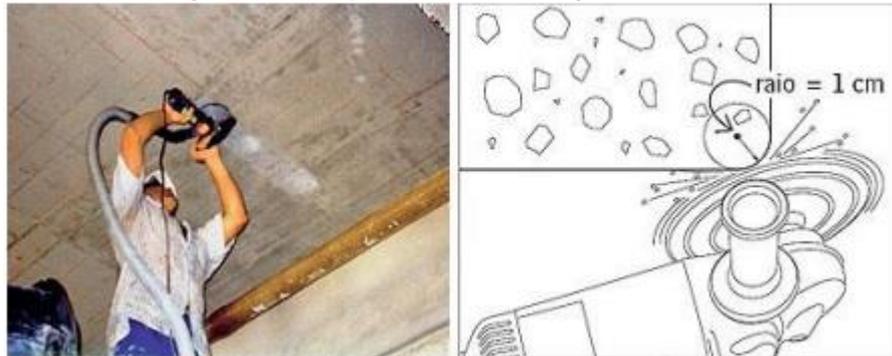
Analisando profundamente os quesitos apresentados no estudo, pode-se comparar cada um deles, separadamente, em forma de tópicos. O primeiro item analisado é o custo. A partir da comparação entre a armadura e graute e o carbono, se vê uma diferença de R\$4120,38 pendendo para o lado da fibra de carbono, porque o número de matérias-primas é menor. Quando o assunto é mão de obra observa-se o número de funcionários decrescendo para a aplicação do material carbônico, pois o número de materiais reduz, isto é, um trabalhador para cada. Porém, é notório a necessidade de uma mão de obra especializada e isto pode acarretar um custo elevado, mesmo com metade dos funcionários.

A questão do prazo é algo que chama atenção tanto positivo quanto negativamente, uma vez que é possível reduzir o tempo de serviço pela metade contando com a facilidade de execução. Entretanto, essa mesma facilidade de execução e diminuição de prazo assustam os compradores que não contenham conhecimento aprofundado sobre o tema. Tal efeito ocorre por conta do vício que foi gerado pelo tempo mais extenso do método convencional, ou seja, aquele período de formação, secagem e teste do concreto armado com armadura.

No âmbito do cuidado tanto para com o trabalhador quanto com o meio ambiente é compreensível questões como: ruído; vibrações; entulho e macro ou micropartículas, em suspensão ou não. O ruído pode ser encontrado no momento em que ocorre a conformação dos cantos, uma das primeiras precauções a serem tomadas no sistema CFC. Para que haja essa conformação é necessário que uma lixa passe pelo cimento e faça com que o composto sofra desgaste.

Com isso, a lixa é ligada e gera um barulho desconfortável e que pode facilmente extrapolar os limites orientados, além do composto se desprender em pequenas partículas, gases e diversos outros resíduos. Todos os caos acima podem ser chamados de entulho, o que pode ser parcialmente evitado na aplicação do carbono (produto que é separado dos demais e uma única matéria prima). A Figura 27 mostra o esquema da conformação do canto a qual acarreta todos estes problemas:

Figura 27 – Esquema de conformação do canto.



Fonte: BRONZE, 2016.

Comparando-se a questão denominada formação de entulho é possível perceber com facilidade que ambos não evitam esta formação, entretanto é de fácil compreensão que ao se aplicar o material carbônico o número de materiais que não sofrem tanta perda, como: a fibra em si, a resina de impregnação, de laminação e regularização, isto é, as resinas podem ser preparadas em proporções corretas. Já com aço, graute e madeira o processo é diferente, pois por mais que o cálculo seja feito corretamente é notório uma perda elevada.

4 ANÁLISE DOS ESTUDOS

Com o final do estudo de casos foi possível observar as vantagens e desvantagens do método descrito anteriormente e desenvolver uma tabela comparativa. Nota-se na tabela onze, abaixo, as vantagens do método. Dentre elas: aumento de resistência, manutenção de seções, usado como manutenção, facilidades em alguns quesitos, execução rápida, redução de custos, não sofre repulsa de outros reforços, redução nos riscos de congelamento, versatilidade e redução de custos. Já falando sobre as desvantagens, é de fácil entendimento os tópicos: necessidade de mão de obra especializada, falta de credibilidade, não existem muitas normas, existência de uma resistência mínima, geralmente são produtos importados, ter de cuidar para que não chegue a temperatura vítrea e a falta de informações pelos compradores. A tabela 11 ilustra a análise.

Tabela 11 – Vantagens e desvantagens da aplicação.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Aumenta a resistência à flexão, cisalhamento, compressão, fadiga e ao impacto.	Alto custo comparando-se aos métodos convencionais.
Manutenção de seções originais de peças reforçadas.	A mão de obra deverá ser especializada para o dimensionamento e aplicação.
Manutenção ou acréscimo para com as cargas de edificações.	Falta de credibilidade por parte dos engenheiros tradicionais.
Manuseio, instalação e manutenções em geral com facilidade.	Não apresenta norma brasileira para dimensão e aplicação.
Execução do reforço rapidamente.	A resistência à compressão deve ser maior que quinze Mpa.
Redução de custos com manutenção e/ou paralisações.	Tanto a manta quanto os adesivos estruturais são importados.
Pode ser aplicado em qualquer tipo de reforço.	Taxa de flexibilidade considerada alta.
Versátil quando se fala sobre recuperação estrutural por conta da geometria e elementos estruturais.	Temperatura vítrea da resina entre sessenta e oitenta graus.
Redução no risco de congelamento e danos pós-descongelamento.	Falta de informação por parte dos compradores/clientes.

Fonte: autoria própria

5 CONCLUSÃO

É necessário retornar ao início do trabalho para verificar se os objetivos foram atingidos. É de conhecimento que o objetivo geral era pesquisar a utilização do tecido carbônico e, em seguida, compreender vantagens e desvantagens em meio às estruturas de concreto armado. Dentro dos objetivos específicos o trabalho objetivava fazer um levantamento bibliográfico sobre tecido carbônico, além de analisar os estudos de casos presentes na literatura acadêmica (cinco casos apresentados anteriormente) e por fim discutir tais casos, visando apontar os prós e contras.

Por meio dos estudos anteriores, foi possível observar que a aplicação do composto de carbono sendo, o mesmo, orientado ou não em meio ao concreto e que poderá originar um compósito mais maleável, aumento de resistência à tração, execução, manuseio e manutenção com facilidade, ou seja, proporciona praticidade, além de redução de custo com paralisações. Entretanto, deve-se lembrar de que tal material ainda é pouco difundido no mercado brasileiro. Isto pode ocorrer por conta de certo “vício” por parte dos engenheiros, arquitetos e até mesmo os compradores que estão acostumados em ver madeira, aço, muitos funcionários e o tempo de espera elevado. Porém, o esquema do tecido carbônico faz com que o número de funcionários e o tempo de aplicação caíssem pela metade e os custos dos materiais passassem a ser apenas com o tecido e com as resinas aplicadas durante o processo. Acredita-se que com a introdução do reforço a mão de obra especializada aparece ao mesmo tempo, porque tal processo requer conhecimento.

Portanto, é notório que a utilização do reforço integra características boas ao material de concreto e, desta forma, deveria ser mais utilizado, ainda assim lembrando que o processo poderá levar um período de tempo maior para começar por conta da mão de obra ter de ser especializada.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAFAS. **Fibras manufaturadas**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.abrafas.org.br/site/vitrine-noticias/index/materia/fibras-manufaturadas/c/b6f>>. Acesso em: 21 set. 2018

ALISSON, Elton. **Pesquisadores da usp desenvolvem cimento ecoeficiente**. Maio de 2013. Agência Fapesp. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/pesquisadores-da-usp-desenvolvem-cimento-ecoeficiente/17215/>>. Acesso em: 21 set. 2018

ALVES, Rogério. **Resistência mecânica de concreto de cimento Portland: correlação de ensaio à compressão axial com esclerometria**. Jun. 2017. Univates. P.53.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (EUA). **Test for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression**. ASTM C 469-94.

ARAÚJO, Mário Duarte de; CASTRO, Ernesto Manuel de Melo e. **Manual de engenharia têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, v. 2, 1984.

BALAGURU, Perumalsamy N; SHAH, Surendra P. **Fiber-reinforced cement composites**. Universidade de Michigan. ed. McGraw-Hill, 1992.

BEBER, Andriei Jose. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono**. Porto Alegre, 2003.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Concreto armado eu te amo: para arquitetos**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2006. p 224.

DOLZAN, Neseli. **Tingimento de fibras sintéticas com corantes dispersos**. (Dissertação). 2004, UFSC- Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina p. 29

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. São Paulo. p 26-32.

INMETRO. **Resumo do sistema internacional de unidades - SI**. 2012. Disponível em:< http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pdf/Resumo_SI.pdf> Acesso: 23 set. 2018

ISENMANN, Armin. **O processo do alto-forno e a produção de aço**. Cefet- centro federal de educação tecnológica de Minas Gerais, p.3.

KELES, Karen Costa. **Influência da basicidade da escória de alto forno com adição ao concreto**. 2011.

LEBRÃO, Guilherme Wolf. **Fibra de carbono**. Revista Plástico sul, 2008.

SCHWARTZ, M. M. **Composite materials handbook**. New York: McGraw-Hill, 1984.

TAYLOR, G. **Material in construction**. 2.ed. London: Longman Scientific & Technical, 1994. P. 284.

VALENTIM, Linowesley Teixeira. **Procedimento operacional para produção do piche eletrolítico, utilizado no setor siderúrgico**. (Dissertação). 2013. Centro universitário de Volta Redonda.

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; CÉSAR JR, Kléos M Lenz. **Concreto protendido: fundamentos básicos**. 4. ed. Minas Gerais, 1998.

WIEBECK, H., Harada J. **Plásticos de engenharia: tecnologia e aplicações**. ed. São Paulo: Artliber, 2005.