

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

IGOR DO ESPÍRITO SANTO BIANCA
MAYANE CORDEIRO LOUREIRO
RAYANI SALVADOR OLIVEIRA
SUZANA PANDINI GUMIERO

**ANÁLISE DE REFORÇO ESTRUTURAL EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO
UTILIZANDO MANTA DE FIBRA DE CARBONO: ESTUDO DE CASO EM
UNIDADE DE ENSINO DO MUNICÍPIO DE ARACRUZ**

ARACRUZ
2018

IGOR DO ESPÍRITO SANTO BIANCA

MAYANE CORDEIRO LOUREIRO

RAYANI SALVADOR OLIVEIRA

SUZANA PANDINI GUMIERO

**ANÁLISE DE REFORÇO ESTRUTURAL EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO
UTILIZANDO MANTA DE FIBRA DE CARBONO: ESTUDO DE CASO EM
UNIDADE DE ENSINO DO MUNICÍPIO DE ARACRUZ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
coordenadoria do curso de Engenharia Civil das
Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito
parcial para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Felipe Coelho de
Freitas

ARACRUZ

2018

RESUMO

Em muitas situações é necessário a recuperação ou reforço de estruturas de concreto armado para a segurança adequada, por isso diversas técnicas são estudadas e empregadas em reforços por profissionais da área para atender as necessidades de se construir. Na busca de otimizar o processo e aumentar a qualidade, tecnologias mais eficazes surgem no mercado, como é o caso da manta de fibra de carbono, um material que inserido no elemento estrutural de concreto armado tem como principal característica aumentar a capacidade de resistência à flexão. A presente pesquisa tem como objetivo analisar a utilização da manta de fibra de carbono como alternativa de reforço estrutural aplicada em vigas de concreto armado de uma unidade escolar no Município de Aracruz. Assim, através da pesquisa bibliográfica sobre o assunto e dos dados disponibilizados pela Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura de Aracruz (SEMOB), foi possível elaborar o dimensionamento e levantamento de custos da aplicação da manta de fibra de carbono e comparar os resultados com a técnica executada no estudo de caso em referência. Os resultados obtidos sugerem que a manta de fibra de carbono é uma solução eficiente para o reforço de vigas submetidas a momentos fletores superiores aos projetados, não implica em rebaixamento do pé direito do local e uma técnica ideal para ser aplicada em locais de movimentação, pela facilidade na execução que exclui a necessidade de isolamento. Com relação ao custo, a execução de reforço com manta de fibra de carbono apresentou aumento de 4,72% em comparação a instalação de vigas metálicas na unidade de ensino, considerando que a data base do orçamento é de aproximadamente um ano, o que pode provocar alteração no preço de alguns itens da obra.

Palavras-chave: Fibra de carbono. Reforço estrutural. Vigas.

ABSTRACT

In many situations it is necessary to recover or reinforce reinforced concrete structures for adequate safety, so several techniques are studied and used in reinforcements by professionals of the area to meet the needs of building. In the search to optimize the process and increase the quality, more effective technologies appear in the market, as is the case of the carbon fiber blanket, a material that inserted in the structural element of reinforced concrete has as main characteristic to increase the capacity of resistance to the flexion. The present research aims to analyze the use of the carbon fiber blanket as an alternative structural reinforcement applied in reinforced concrete beams of a school unit in the Municipality of Aracruz. Thus, through the bibliographic research on the subject and the data provided by the Municipal Secretariat of Works and Infrastructure of Aracruz (SEMOB), it was possible to elaborate the dimensioning and costing of the application of the carbon fiber blanket and to compare the results with the technique the case study in question. The results suggest that the carbon fiber blanket is an efficient solution for the reinforcement of beams submitted to bending moments superior to those projected, does not imply lowering the right foot of the place and an ideal technique to be applied in places of movement, by the ease of execution that excludes the need for isolation. With regard to cost, the execution of reinforcement with carbon fiber blanket increased by 4.72% in relation to the installation of metal beams in the teaching unit, considering that the base date of the budget is approximately one year, which can change in the price of some items of the work.

Keywords: Carbon fiber. Structural reinforcement. Beams.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVOS.....	8
1.1.1	Geral.....	8
1.1.2	Específicos.....	8
1.2	JUSTIFICATIVA.....	9
1.2.1	Acadêmica.....	9
1.2.2	Mercadológica.....	9
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	REFORÇOS ESTRUTURAIS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO	10
2.1.1	Reforço por meio de Encamisamento.....	11
2.1.2	Reforço por meio de Adição de Perfis ou Chapas Metálicas.....	13
2.1.3	Reforço por Protensão Externa.....	14
2.1.4	Reforço por Colagem de Manta de Fibra de Carbono	16
2.2	REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA DE FIBRA DE CARBONO	17
2.2.1	Manta de Fibra de Carbono como Método Alternativo em Reforço Estrutural de Concreto Armado	17
2.2.2	Métodos de Aplicação	20
2.2.3	Vantagens e Desvantagens Técnicas da Manta de Fibra de Carbono	23
2.2.4	Dimensionamento do Reforço com a Manta de Fibra de Carbono	24
3	METODOLOGIA.....	26
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS.....	28
4.1	CONDIÇÕES DAS VIGAS DE CONCRETO ARMADO QUE SUSTENTAM A CAIXA D'ÁGUA DA EMEF PLACIDINO PASSOS	28
4.2	DIMENSIONAMENTO DA MANTA DE FIBRA DE CARBONO PARA O ESTUDO DE CASO	31
4.3	ANÁLISE DE CUSTO DO REFORÇO COM MANTA DE FIBRA DE CARBONO PARA O ESTUDO DE CASO.....	33

5	CONCLUSÃO.....	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	37
	APÊNDICES	39
	APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DA MANTA DE FIBRA DE CARBONO	39
	APÊNDICE B – CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO	44
	APÊNDICE C – RESUMO DO ORÇAMENTO	45
	APÊNDICE D – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA	46
	APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO	47
	APÊNDICE F – COMPOSIÇÃO DE CUSTO	48
	APÊNDICE G – COTAÇÃO	49
	APÊNDICE H – COMPOSIÇÃO BDI	50
	APÊNDICE I – COMPOSIÇÃO LEI SOCIAL	52

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é de longe o material mais utilizado em estruturas no Brasil e no mundo, em âmbito geral é o recurso mais consumido pelo homem depois da água (ANDRADE, 2006). Apesar do concreto e o aço suprirem as necessidades um do outro e trabalharem bem juntos, problemas estruturais podem surgir e prejudicar a segurança, em decorrência de falhas de planejamento ou execução do projeto, uso inadequado da estrutura, ou simplesmente devido a degradação natural do concreto ao longo do tempo. Assim, é de extrema importância que seja realizado a recuperação dos elementos estruturais para garantir a segurança adequada.

Na busca por aperfeiçoar o processo e aumentar a qualidade, diversas técnicas são estudadas e empregadas em reforços por profissionais que atuam na área de recuperação estrutural. Métodos como reforços por meio de encamisamento, adição de perfis ou chapas metálicas e proteção externa são aplicadas comumente em estruturas de concreto armado. A manta de fibra de carbono é um material que manifestou resultado satisfatório na construção civil em reforço estrutural.

A manta de fibra de carbono inserida no elemento estrutural de concreto armado tem como principal característica aumentar a capacidade de resistência à flexão. O sistema apresenta alta resistência mecânica, leveza e imunidade à corrosão (MACHADO, 2002). Sua aplicação é simples, rápida e não provoca grandes mudanças na geometria da peça. Porém, ainda é uma técnica com custo elevado e que necessita de mão de obra especializada para execução do serviço.

Contudo, os reforços estruturais em vigas de concreto armado são padronizados pelos métodos convencionais citados acima e alternativas mais eficientes ainda são pouco adeptas no Brasil. Diante do exposto, a pesquisa pretende apresentar a resposta para a seguinte pergunta: É adequada a utilização da manta de fibra de carbono como método alternativo para executar reforços estruturais em vigas de concreto armado subdimensionadas?

Desta forma, este trabalho objetiva analisar a utilização da manta de fibra de carbono como alternativa de reforço estrutural aplicado em vigas de concreto

armado de uma unidade escolar no Município de Aracruz. O problema estrutural na unidade consistia no subdimensionamento das vigas que suportam o reservatório superior de água e passou recentemente por reforço estrutural com adição de perfis metálicos.

Para cumprir o objetivo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, elaborado o dimensionamento e levantamento de custos da aplicação da manta de fibra de carbono no estudo de caso em referência, através de dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura de Aracruz (SEMOB). Com o estudo realizado na unidade escolar foi possível comparar os resultados com a técnica convencional de reforço por meio de adição de perfil metálico em vigas de concreto armado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Analisar a utilização da manta de fibra de carbono como alternativa de reforço estrutural aplicada em vigas de concreto armado de uma unidade escolar no Município de Aracruz.

1.1.2 Específicos

- Descrever sobre reforços estruturais em vigas de concreto armado;
- Apresentar o reforço estrutural com manta de fibra de carbono;
- Apresentar as condições das vigas a serem reforçadas (estudo de caso);
- Dimensionar e detalhar a utilização de manta de fibra de carbono para o estudo de caso previamente definido;
- Apresentar comparativo de custos com a técnica utilizada na unidade escolar;

1.2 JUSTIFICATIVA

1.2.1 Acadêmica

O estudo sobre a manta de fibra de carbono é relevante para a Engenharia Civil, pois apresenta-se como método alternativo de reforço estrutural, visto que é um sistema pouco aplicado e que mostra vantagens em relação a técnicas tradicionais utilizadas, bem como alta resistência a tração, modificação irrelevante nas dimensões originais da seção transversal da viga reforçada e a estrutura pode ser colocada a serviço em curto tempo após o reforço.

1.2.2 Mercadológica

Conforme já apresentado anteriormente, a utilização de fibra de carbono proporciona otimização de tempo e recurso em relação aos métodos tradicionais. Portanto é interessante comparar este sistema com os métodos convencionais de reforço estrutural (encamisamento, adição de perfis ou chapas metálicas e proteção externa), demonstrando as características que ele apresenta. Por ser tratar de uma tecnologia nova, o estudo desse sistema mostra para o mercado uma oportunidade para engenheiros que procuram se especializar em reforço estrutural, visto que existem poucos especialistas neste tipo de serviço.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo está estruturado da seguinte forma: além desta introdução, no próximo capítulo serão definidos os conceitos de reforços estruturais em vigas de concreto armado e as características de reforço estrutural com manta de fibra de carbono que sustentam este estudo. Em seguida são apresentados os procedimentos metodológicos. Ato contínuo serão apresentados e discutidos os resultados e por fim, no último capítulo, discute-se a relevância do estudo, sugerindo ensaios de resistência aplicação in loco da manta de fibra de carbono, para clareza dos resultados da pesquisa bibliográfica realizada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REFORÇOS ESTRUTURAIS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Em diversas situações é comum observar a deterioração do concreto, seja ao longo do tempo, por falta de manutenção, ou a ações externas e até mesmo a erros de projetos. A partir do momento que sua condição de resistência é prejudicada e oferecem riscos a segurança, devem ser tomadas providências imediatas para a recuperação adequada desta estrutura. Logo, o reforço estrutural surge com a finalidade de atender as necessidades de: correção de falhas de projeto ou de execução; aumentar a capacidade de suporte de carga, de forma que permita outros fins de utilização do projeto; restabelecer a capacidade de resistência, visto que é minorada devido a acidentes ou degradação do concreto. (SOUZA & RIPPER, 2009).

Para realizar o reforço em um elemento estrutural, devem ser levados em consideração vários aspectos que influenciam na escolha do sistema que melhor se adéqua a condição existente, como explica Reis (2001, p. 79):

Qualquer técnica adotada requer como pressupostos principais do projeto a identificação das possíveis soluções, de forma a obter um sistema coerente com o ambiente em que se insere a estrutura, respeitando-se o partido arquitetônico, e balanceando-se quanto aos aspectos relativos aos custos. Devem ser observadas as recomendações existentes para o dimensionamento, os procedimentos para a execução, o controle da qualidade do processo, permitindo inclusive a inclusão de técnicas de monitoramento das estruturas. Considerações quanto à condição de reforço máximo e condições impostas pela capacidade global da estrutura, devem ser observadas.

É relevante destacar também a importância da análise técnica por um profissional da área na concepção do reforço estrutural, que tenha capacidade para avaliar as condições de projeto, a fim de apresentar a solução que atenda as necessidades e preserve a segurança. Desta forma, técnicas como reforço por meio de encamisamento, reforço por meio de adição de perfis ou chapas metálicas, reforço por protensão externa e reforço por colagem de manta de fibra de carbono são

exemplos de sistemas desenvolvidos por especialistas e utilizados em reforço de elementos estruturais, como vigas de concreto armado.

2.1.1 Reforço por meio de Encamisamento

O reforço por meio de encamisamento é uma das técnicas mais utilizadas no Brasil para aumentar a capacidade portante de uma estrutura que apresenta desempenho insatisfatório. Na execução desse sistema é adicionado concreto com ou sem armadura, e o encamisamento da seção pode ser parcial, em uma parte da região da peça (figura 01) ou total da seção (figura 02). Por ser um método convencional de reforço, apresenta vantagens como: baixo custo de material e fácil acesso a mão de obra especializada.

Figura 01 - Viga reforçada apenas na região tracionada (encamisamento parcial)



Fonte: Santos (2006).

Figura 02 - Viga reforçada em todo contorno (encamisamento total)



Fonte: Santos (2006).

Na execução do reforço por encamisamento, Silva (2011) alerta que é importante ficar atento a aderência do concreto novo com o original, visto que são concretos executados em tempos distintos e, portanto apresentam características que os tornam incompatíveis. Assim é imprescindível que os dois concretos se comportem como uma peça estrutural monolítica, evitando o deslizamento da peça.

Para garantir que os dois concretos trabalhem em conjunto é adicionado pinos (estribos prolongados, chumbadores ou pequenas barras coladas com resinas), que ligam a interface do material e tornam a resistir aos esforços de cisalhamento que ali se desenvolvem.

Apesar de ser uma técnica tradicional, o reforço por encamisamento apresenta desvantagens consideráveis como: o aumento na geometria da peça, morosidade na execução do reforço, visto que é necessário tempo para que o concreto atinja a resistência adequada, e a sobrecarga na estrutura que pode ser gerada devido ao volume adicionado.

2.1.2 Reforço por meio de Adição de Perfis ou Chapas Metálicas

A colagem, ou chumbamento de perfis e chapas metálicas é uma técnica desenvolvida que se aplica quando há necessidade de aumentar a capacidade resistente de elementos estruturais, principalmente em situações que não permitem grandes interferências na geometria da seção do elemento reforçado. Trata-se de um sistema eficiente que apresenta rapidez na execução e baixo custo, comparado a outros métodos.

A superfície de concreto onde será aplicado a chapa de aço ou o perfil metálico, seja coladas com resina ou chumbadas ao concreto, deve ser preparada de forma que proporcione a aderência adequada para que os elementos trabalhem em conjunto no reforço. As patologias que existirem na região onde for aplicada a técnica, devem ser tratadas com selador antes de executar o serviço do reforço. A superfície ideal do concreto para o sistema é uma superfície rugosa contínua, que pode ser produzida através de jatos de areia, para que a chapa e o concreto, unidos pela resina epóxi ou pelos chumbadores, trabalhem em sincronia, com as tensões previstas para suportar o esforço solicitante e atuar como reforço na estrutura.

Figura 03 – Reforço em chapas metálicas, só com colagem (à esquerda) e também com chumbamento



Fonte: Souza e Ripper (2009).

Figura 04 – Reforço por chumbamento de perfis metálicos



Fonte: Souza e Ripper (2009).

De acordo com Souza e Ripper (1998), as principais considerações para o reforço com chapas coladas são:

- Não exceder a espessura máxima de cola que é de 1,5 mm;
- Não ultrapassar a espessura de 3 mm das chapas, salvo quando utilizados dispositivos de ancoragem especiais (buchas metálicas expansivas, em particular);
- Não superar em 50% o incremento a ser obtido nos esforços resistentes, comparada à situação anterior ao reforço.

No entanto, essa técnica apresenta desvantagens, por ser um material propício a corrosão se não for realizada manutenção preventiva, baixa resistência ao fogo, complicação na identificação de fissuras na região sob a chapa, tendência de destacamento das bordas das chapas devido à concentração de tensões, dificuldade de manipulação de chapas pesadas no local da obra, alto custo do adesivo e limitação do comprimento das chapas (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.1.3 Reforço por Protensão Externa

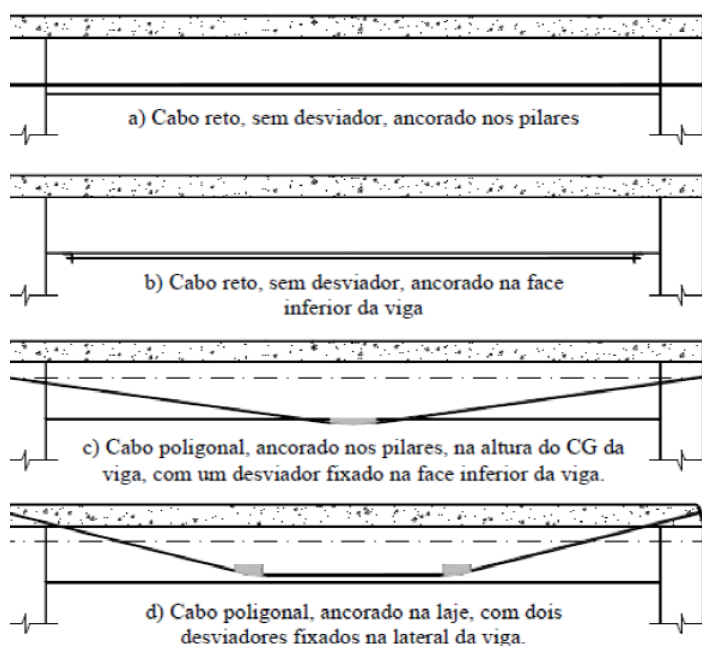
A técnica de protensão externa é utilizada para aumentar a capacidade portante de uma estrutura, através da inserção de uma força exterior por meio de cabos de aço protendidos por macacos hidráulicos, que supre as necessidades de resistência da peça de concreto armado. É um sistema que apresenta execução simples, facilidade

na troca ou manutenção dos cabos, por estarem localizados por fora do elemento estrutural e ausência de problemas com o cobrimento dos cabos, por isso Estados Unidos, Japão e Europa demonstram grande apreço por esse método (BEBER, 2003). Além disso, a protensão externa não exige o descarregamento parcial ou total da estrutura, o equipamento é leve, fácil para manuseio, pode estancar fissuras, aumentar a resistência à flexão e cortante sem aumento significativo do peso da viga e o reforço pode ser executado sem interferências no uso da edificação (ALMEIDA, 2001).

Segundo Almeida (2001), pode ser utilizado cordoalhas engraxadas e plastificadas que possuem proteção contra corrosão, e também materiais diferentes do aço como, fibras sintéticas embebidos em uma matriz polimérica, fibras de carbono, de aramida e de vidro possuem propriedades mecânicas ideais para cabos de protensão.

Dependendo do tipo de esforço que se pretende acrescentar à estrutura, pode-se usar cabos retos ou com ângulos variados, ancorados nos pilares, em vigas de apoio ou nas lajes, com ou sem desviadores.

Figura 05 – Geometria dos cabos de protensão



Fonte: Almeida (2001).

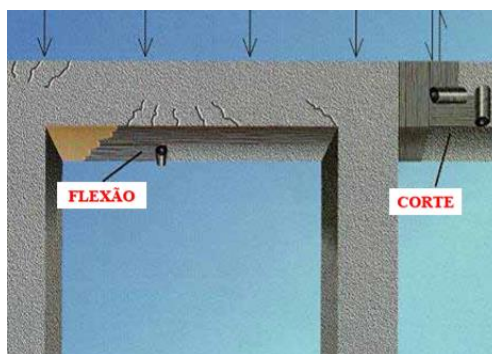
Por ser uma técnica exposta a ações externas, o sistema apresenta desvantagens em relação à ação do fogo, corrosão e acesso a vandalismo. Para evitar problemas como estes, que podem prejudicar a integridade física da estrutura, os cabos devem ser protegidos com aplicação de concreto convencional ou projetado ao entorno.

2.1.4 Reforço por Colagem de Manta de Fibra de Carbono

Graças ao avanço tecnológico na indústria, materiais mais eficazes surgem e oferecem melhores vantagens na substituição de materiais convencionais, como é o caso da fibra de carbono, um material altamente resistente e durável, leve e fácil de ser aplicado.

Em virtude da combinação que a fibra de carbono proporciona, seu histórico de aplicação é antigo no setor aeronáutico, aeroespacial e automobilístico. Na indústria da construção civil, a fibra de carbono em conjunto com a matriz polimérica trabalha monoliticamente formando um compósito que aumenta a capacidade resistente dos elementos estruturais, apropriado para reforços de vigas de concreto armado. Machado (2002) comenta que o sistema pode ser usado para reforçar diversos elementos estruturais. Em casos específicos como reforço de vigas à flexão e ao corte “As fibras de carbono podem ser utilizadas para absorver os esforços de tração decorrentes dos momentos fletores positivos e negativos, bem como das tensões tangenciais (de cisalhamento) decorrentes dos esforços cortantes”, como é ilustrado na figura 06.

Figura 06 – Reforço de viga à flexão e ao corte com fibras de carbono



Fonte: Machado (2006).

Figura 07 – Reforço de viga de concreto à flexão e ao corte



Fonte: Machado (2002).

Em comparação a outras técnicas de reforço estrutural, o material possui custo elevado e é necessário mão de obra especializada para o tipo de serviço, além disso, algumas desvantagens dessa técnica é a incompatibilidade da manta com superfícies irregulares e baixa resistência ao fogo.

A seguir serão abordadas as principais características da manta de fibra de carbono como solução em processos de reforço estrutural de concreto.

2.2 REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA DE FIBRA DE CARBONO

2.2.1 Manta de Fibra de Carbono como Método Alternativo em Reforço Estrutural de Concreto Armado

Em decorrência dos abalos sísmicos no Japão, o primeiro indício de reforço estrutural de concreto armado utilizando a manta de fibra de carbono surgiu no início dos anos 80 nessa região da Ásia, por ser tratar de um material de recuperação e reforço em curto intervalo de tempo (SANTOS, 2008).

No Brasil, de acordo com Beber (2003), a primeira aplicação do sistema compósito de fibra de carbono em reforço foi em 1998, no viaduto Santa Tereza localizado em Belo Horizonte (figura 08). Por ser uma estrutura tombada pelo patrimônio histórico, a técnica atendeu as necessidades impostas.

Figura 08 – Reforço com fibras de carbono no viaduto Santa Tereza



Fonte: Machado (2007, p.80).

O sistema consiste em um compósito formado por dois elementos diferentes que juntos apresentam sincronia, a matriz polimérica e a fibra de carbono. Segundo Machado (2002) a matriz polimérica tem o papel de manter as fibras de carbono unidas e trabalhar a transferência das tensões de cisalhamento entre o concreto e o material. As fibras de carbono se encontram em direções paralelas no interior da matriz polimérica (figura 09) e tem a função de atuar como elemento resistente aos esforços de tração na estrutura.

Figura 09 – Representação esquemática de um sistema de fibras de carbono

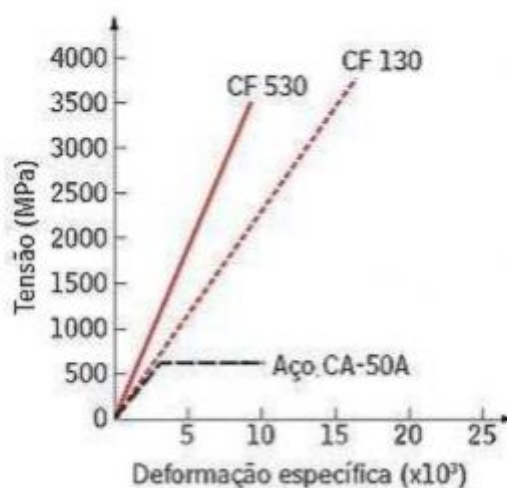


Fonte: Machado (2006).

A figura 10 apresenta a deformação específica em função da tensão das fibras de carbono e do aço CA-50, tradicional na construção civil. A partir dela é possível

observar a vantagem na resistência de tração da fibra de carbono em relação ao aço. De acordo com Santos (2008), “Essa extraordinária resistência da fibra de carbono é importantíssima para o reforço de estruturas, pois a área de reforço se torna muito pequena”.

Figura 10 – Diagrama tensão-deformação específica das fibras de carbono e aço



Fonte: Machado (2007, p.77).

A tabela 01 é disponibilizada por Machado (2006) em “Apresentação na ABECE – São Paulo”, onde o autor mostra as propriedades físicas da fibra de carbono utilizada no sistema composto MBrace da BASF.

Tabela 01 – Propriedades físicas das fibras de carbono do sistema MBrace

Características do Produto	CF – 130	CF – 160
Apresentação em Rolos	0,60m x 81,00m	0,50m x 50,00m
Área	48,60 m ²	25,00 m ²
Pêso por Área	300 G/ m ²	600 G/ m ²
Espessura Nominal	0,165mm/lâmina	0,330mm/lâmina
Resistência Máxima à Tração	3800 MPa	3800 MPa
Modulo de Elasticidade	227 GPa	227 GPa
Resistencia Máxima na Largura	0,625kN/mm/lâmina	1,250kN/mm/lâmina
Deformação Máxima	1,67 %	1,67 %

Fonte: Machado (2006).

Figura 11 – Rolo de tecido de fibra de carbono CF-130



Fonte: Machado (2006).

Assim, a manta de fibra de carbono, conforme Machado (2002) pode ser utilizada em reforços estruturais de concreto para reparar o elemento prejudicado por patologias específicas ou somente para aumentar os esforços solicitantes de estruturas que se encontram em boas condições, de tal modo, que sua aplicação apresenta maior desempenho mecânico e resistência devido as fibras de carbono, facilidade de aplicação e manutenção da seção da peça. Contudo, o engenheiro civil Wellington Mazer, e professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, explica no Portal AECweb que o custo elevado do sistema em comparação a outras técnicas de reforço estrutural ainda prevalece como desvantagem. Mazer orienta que para obter o resultado satisfatório de reforço na estrutura é importante a contratação de mão de obra especializada para realizar o serviço.

2.2.2 Métodos de Aplicação

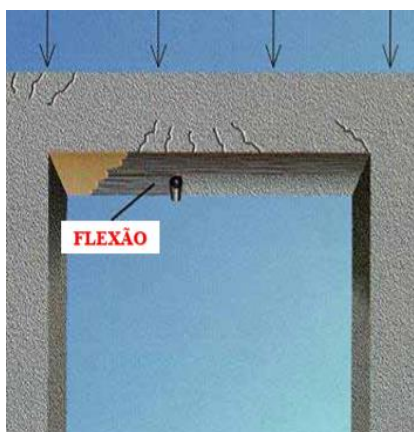
Segundo Mazer, no Portal AECweb, a instalação dos compósitos reforçados com fibras de carbono deve sempre ser efetuada por profissionais capacitados e experientes, pois é um procedimento com certo nível de dificuldade e que, se não for executado de maneira correta, pode divergir do reforço esperado ao elemento.

No Brasil ainda não existe normatização técnica específica para o uso da fibra de carbono como reforço estrutural. As normas técnicas mais relevantes são internacionais, por exemplo, a ACI-440 – Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement – do American Concrete Institute, sendo que as principais fontes de consulta são os

procedimentos executivos disponibilizados nos manuais dos fabricantes da manta de fibra de carbono (PORTAL AECWEB).

Existe uma grande variedade de elementos de concreto armado em que os sistemas compostos estruturados com fibras de carbono podem ser utilizados para promover reforço estrutural. Especificamente no caso estudado, o reforço é executado em vigas submetidas à flexão. Onde ele irá absorver os esforços de tração decorrentes dos momentos fletores. Sendo assim a aplicação é realizada na parte inferior da viga, como pode ser observado na figura 12.

Figura 12 - Exemplificação de reforço em viga à flexão

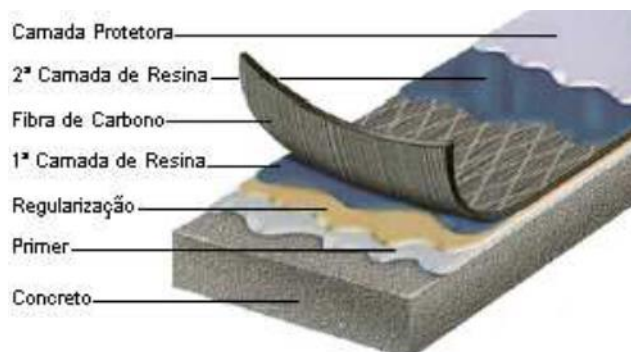


Fonte: Machado (2006).

O procedimento adotado para execução do reforço com manta é a sua aplicação sobre um adesivo epóxi na superfície de concreto preparada, que tem a função de transferir os esforços da estrutura para o compósito. A primeira etapa é a recuperação do substrato de concreto armado, garantindo que a superfície disponha de suficiente resistência mecânica, para que o sistema possa ser aderido com segurança (MACHADO, 2010).

Na figura 13 é possível visualizar o esquema de camadas aplicadas sobre o elemento reforçado.

Figura 13 - Etapas construtivas dos sistemas compostos reforçados com fibras de carbono



Fonte: Rodrigues (2002).

Considerando que a condição ideal para a execução do reforço seja em uma superfície lisa, a limpeza é executada visando a remoção de poeira, de substâncias oleosas, graxas, partículas sólidas ou revestimentos, utilizando-se produtos para eliminar pequenas irregularidades na superfície, evitando assim, que o ar fique aprisionado entre a manta e o substrato (JUVANDES, 2002).

Após regularização do substrato, é realizada a imprimação da superfície sobre a qual será aplicado o sistema para se estabelecer uma ponte de aderência entre o substrato de concreto e o sistema composto. Para tanto se utiliza um primer com elevado teor de sólidos que, ao penetrar nos poros do concreto e ao estabelecer uma película sobre a superfície do concreto, cria uma interface altamente eficiente para a transmissão de esforços entre o composto e a peça de concreto (MACHADO, 2010).

O engenheiro Mazer explica que passadas duas horas da aplicação da camada de primer, já é possível iniciar a aplicação da resina epóxi. A primeira camada de resina saturante com alto teor de sólidos servirá para impregnar (saturar) a lâmina de fibra de carbono e aderi-la à superfície do concreto. A saturação da fibra pode ser feita sobre uma bancada antes da aplicação ou, então, diretamente na peça de concreto a ser reforçada. A aplicação da lâmina de fibra de carbono que vai reforçar o sistema composto é feita imediatamente após a saturação, pois o tempo de aplicação da resina é curto – 25 minutos, no máximo (PORTAL AECWEB).

Na aplicação da segunda camada de resina saturante o procedimento é o mesmo. O objetivo é completar a impregnação da lâmina de fibra de carbono e acabando de conformar a matriz epoxídica que envelopa o sistema (MACHADO, 2010).

Finalizada a aplicação, podem ser usados alguns tipos de acabamento com objetivo de proteção (contrafogo, radiação ultravioleta) e/ou acabamento estético para o sistema. Entre as opções estão concreto projetado ou pintura (SILVA, 2006).

Figura 14 – Reforço estrutural com fibra de carbono em indústria



Fonte: Técnicas Especiais de Engenharia LTDA (2018).

2.2.3 Vantagens e Desvantagens Técnicas da Manta de Fibra de Carbono

Segundo Machado (2002) no Manual de Reforços em Estruturas de Concreto Armado com Manta em Fibra de Carbono da Viapol (fabricante de Mantas em Fibra de Carbono), normalmente os sistemas compostos estruturados que utilizam as fibras de carbono como elemento resistente apresentam as seguintes vantagens:

- Extraordinária resistência mecânica;
- Extraordinária rigidez;
- Bom comportamento à fadiga e à atuação de cargas cíclicas;
- Elevada resistência a ataques químicos diversos;
- Não são afetados pela corrosão por se tratar de um produto inerte;

- Estabilidade térmica e reológica;
- Extrema leveza, devido ao baixo peso específico do sistema (da ordem de 1,6g/cm³ a 1,9g/cm³, cerca de 5 vezes menor do que o do aço estrutural) chega-se ao ponto de não se considerar o seu peso próprio nos reforços.

Ainda no manual citado anteriormente, é possível identificar as desvantagens dos reforços estruturais utilizando a manta em fibra de carbono, como:

- Incompatibilidade da manta de fibra de carbono com uma superfície irregular;
- Necessário preparo da superfície a ser instalada/reforçada com a manta para ter uma completa aderência entre as superfícies;
- Sua baixa resistência ao fogo e à exposição aos raios ultravioletas;
- Necessidade de mão de obra especializada;
- Seu elevado custo de instalação;

2.2.4 Dimensionamento do Reforço com a Manta de Fibra de Carbono

No procedimento para o cálculo do reforço de vigas submetidas à flexão, segue o esquema que é explicado em Machado (2002) no “Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono”:

- i. Verifica-se o momento fletor majorado máximo que atuará na viga e o momento resistente à flexão da viga existente. Caso o momento resistente seja menor que o novo momento, a viga precisará de reforço;
- ii. Verifica-se os valores da posição da linha neutra (x), força resultante da seção tracionada da armadura inferior (F_s), tensão na armadura tracionada (σ_s), deformação na armadura tracionada (ϵ_{si}) e deformação total da peça (ϵ_{ti}) da viga descarregada, ou seja, apenas com atuação das cargas em decorrência do seu peso próprio;

- iii. Repete-se o mesmo processo do item ii utilizando o novo carregamento desejado;
- iv. Diminui-se o valor calculado de deformação para a viga com o carregamento da deformação da viga com apenas o carregamento de peso próprio;
- v. Com a Lei de Hooke, encontra-se a tensão em que o reforço estará submetido;
- vi. Feito todo o processo, obtém-se a área efetiva de fibra de carbono (A_f) e o número de camadas necessárias para reforçar a viga.

3 METODOLOGIA

Para melhor tratamento dos objetivos e melhor apreciação deste estudo, ele pode ser classificado como pesquisa bibliográfica exploratória, pois fez-se o uso de materiais já elaborados: livros, artigos científicos, revistas e documentos eletrônicos na busca e alocação de conhecimento sobre a aplicação da manta de fibra de carbono no reforço estrutural de vigas submetidas a flexão, correlacionando tal conhecimento com abordagens já trabalhadas por outros autores.

Também se entende como um procedimento técnico importante, o estudo de caso, no qual a pesquisa assume a aplicação da fibra de carbono como solução para o subdimensionamento de uma viga em uma unidade de ensino no município de Aracruz, proporcionando maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito e construindo hipóteses sobre ele através do levantamento bibliográfico (GIL, 2008).

Feito isso, foi elaborado o dimensionamento e detalhamento da aplicação da manta de fibra de carbono no estudo de caso em referência, além do levantamento de custos para o sistema proposto.

Para o dimensionado da técnica de reforço estrutural por meio da manta de fibra de carbono na unidade escolar, foi utilizada como base as informações disponibilizadas pela Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura de Aracruz (SEMOB) sobre as condições iniciais das vigas que necessitavam do reforço, apresentado no capítulo seguinte, “Condições das Vigas de concreto Armado que sustentam a Caixa d’água da EMEF Placidino Passos”.

No procedimento para o cálculo do reforço das três vigas, foi elaborada uma planilha eletrônica no *software Excel*, onde dados da estrutura são inseridos e o valor do momento resistente com o reforço é calculado. O dimensionamento segue a metodologia que é explicada por Machado (2002) no capítulo “Dimensionamento do Reforço à flexão com a Manta de Fibra de Carbono” e as características disponibilizadas pelo autor, onde mostra as propriedades físicas da fibra de carbono adotada, MBrace CF160 (Machado, 2006).

Para levantar o custo total de aplicação da manta de fibra de carbono tomou-se como base o Manual para Elaboração de Orçamentos do IOPES (Instituto de Obras Públicas do Estado do Espírito Santo), que descreve os componentes e principais termos e conceitos utilizados no orçamento técnico de uma obra.

A princípio foi realizada uma pesquisa entre fornecedores do material, serviço e equipamentos, objetivando a obtenção de preço destes insumos, de modo que se pode calcular um valor representativo do material pesquisado. Com a composição de custo unitário definiu-se o valor financeiro a ser despendido na execução do respectivo serviço, elaborando-se com base em coeficientes de produtividade, de consumo e aproveitamento de insumos e seus preços coletados no mercado. Ressaltamos que, para a determinação dos coeficientes de mão de obra para execução do reforço com a manta em fibra de carbono, utilizou-se como base informações passadas pelo revendedor Nanobrasil LTDA, onde cotou-se o material.

Com o auxílio do *software Excel* foi levantado os quantitativos contendo a demonstração clara e objetiva do cálculo da quantidade de cada serviço, e, atribuindo valor a ela. Em seguida obteve-se a planilha orçamentária, sintetizando o orçamento com a discriminação de cada serviço com unidade de medida, quantidade, preço unitário e preço parcial, preço total orçado, representado pela soma dos custos parciais de cada serviço.

A planilha de resumo foi gerada através dos itens constantes na planilha orçamentária com seus respectivos percentuais de relevância sobre o valor total da obra. Logo, foi possível apresentar, por meio de gráficos, o desenvolvimento dos serviços a serem executados ao longo do tempo de duração do reforço, demonstrando, em cada período, o percentual físico a ser executado e o respectivo valor financeiro a ser despendido.

Os resultados obtidos foram apresentados e comparados com a técnica convencional de reforço por meio de adição de perfil metálico em vigas de concreto armado, executada na referida unidade escolar.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

4.1 CONDIÇÕES DAS VIGAS DE CONCRETO ARMADO QUE SUSTENTAM A CAIXA D'ÁGUA DA EMEF PLACIDINO PASSOS

No estudo de caso em questão, temos a EMEF Placidino Passos, uma unidade de ensino fundamental do município de Aracruz no estado do Espírito Santo, construída em 2006 e que estava apresentando patologias estruturais nas vigas que sustentam a caixa d'água do edifício.

Juntamente com a Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura de Aracruz (SEMOB) foram obtidos dados que descreveram as condições que se encontravam a viga de concreto armado da unidade. Através do Relatório de Visita Técnica (2016) do engenheiro civil contratado pela Prefeitura Municipal de Aracruz (PMA), foram constatadas fissuras próximas aos pilares centrais de apoios e do topo ao fundo das vigas, em ângulos aproximados de 45° , gerando suspeita de algum comprometimento estrutural.

O engenheiro fez um estudo das condições da estrutura e, comparando com o projeto estrutural, foi possível verificar o dimensionamento das vigas frente as cargas da laje da cobertura e da caixa d'água. Ele concluiu que todas as vigas estavam subdimensionadas para os esforços os quais estavam sendo solicitadas.

Figura 15 – Modelo estrutural do terceiro pavimento



Fonte: Prefeitura Municipal de Aracruz (2016).

Através do diagrama de momento fletor das vigas, foi possível verificar que os elementos estruturais estavam submetidos ao momento máximo de 204,21 tf.m, o que demandava 42,77 cm² de aço longitudinal, mas o previsto em projeto era de 30,16 cm², ou seja, 70,50% do aço necessário para resistir aos esforços segundo a NBR 6118 (2014).

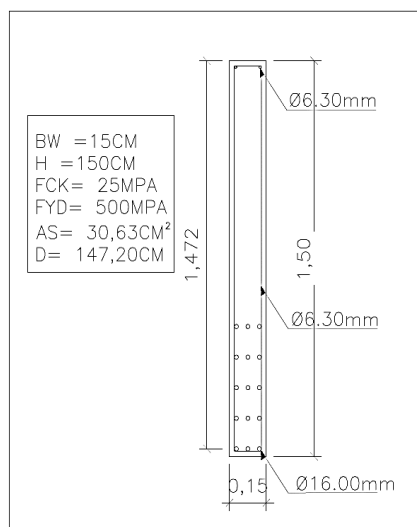
Figura 16 – Vigas que sustentam a caixa d'água na unidade



Fonte: Autores (2018).

As vigas V224, V225 e V226 que sustentam a laje da cobertura do Bloco A da EMEF Placidino Passos são contínuas e semi-invertidas que possuem como apoios os pilares P30, P31 e P32. Apresentam comprimento de 9,70 m, uma base de 15 cm, altura de 150 cm, resistência característica do concreto de 25 MPa, armadura composta por 15 ϕ 16mm como armadura de tração (área total de 30,16 cm²) e 2 ϕ 6,3mm como armadura de compressão (área total de 0,31 cm²). A tensão de escoamento do aço é de 500 MPa, a altura útil (d) é de 147,20 cm e a distância entre a fibra mais comprimida até o centro de gravidade da armadura superior é de 2,80 cm. A figura 17 mostra a representação das vigas com suas respectivas características.

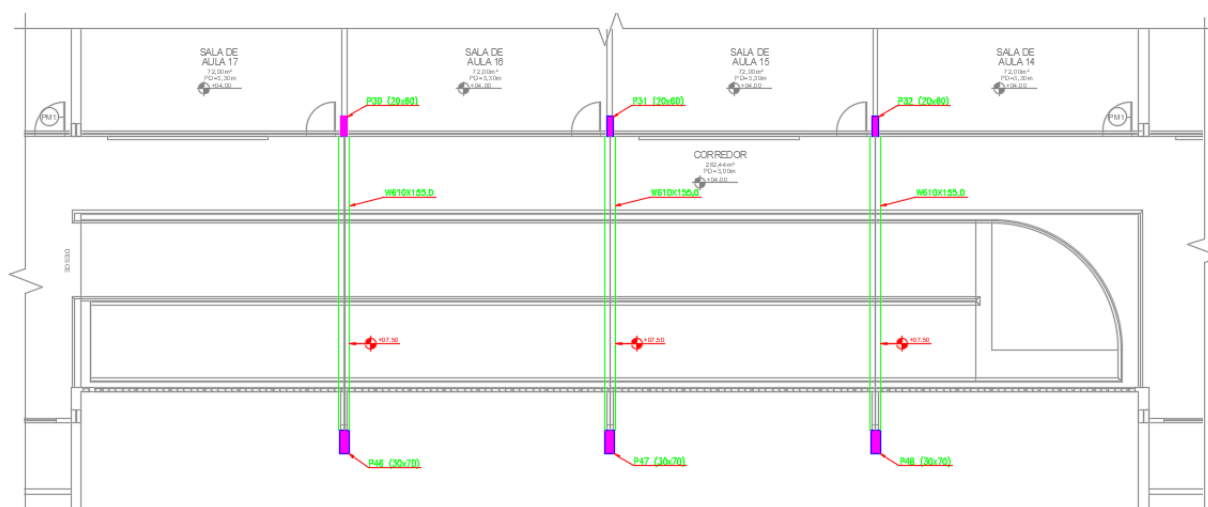
Figura 17 – Dados das vigas V224, V225 e V226



Fonte: Autores (2018).

Para solucionar o problema, foi executado o reforço por meio de perfis metálicos (perfil W610x155) em três vigas de concreto do bloco A que receberiam o excedente de carga que elas não suportavam, como pode ser observado na figura 18 e 19 abaixo. As informações sobre o serviço de reforço estrutural na unidade escolar do município de Aracruz pode ser consultada no *site* Geo-Obras do Tribunal de Contas do Espírito Santo.

Figura 18 – Vigas de reforço em planta



Fonte: Prefeitura Municipal de Aracruz (2017).

Figura 19 – V224, V225 e V226 reforçadas com perfis metálicos



Fonte: Autores (2018).

Conforme já mencionado em nosso estudo, a manta de fibra de carbono apresenta inúmeras vantagens sobre os métodos tradicionais de reforço estrutural. Por esse motivo sugerimos como alternativa frente à solução adotada.

4.2 DIMENSIONAMENTO DA MANTA DE FIBRA DE CARBONO PARA O ESTUDO DE CASO

O dimensionamento do reforço das três vigas seguiu o método explicado por Machado (2002), onde, a partir dos dados da estrutura, calcula-se o valor do momento resistente após o reforço e a área de manta, a ser aplicada.

O momento fletor para as vigas em análise foi obtido através do Relatório de Visita Técnica do Engenheiro contratado pela Prefeitura Municipal de Aracruz para realizar o estudo. Sendo o momento máximo 204,21 tf.m, é possível dimensionar o reforço por manta de fibra de carbono necessário a elas.

O material usado para o reforço desta viga foi: Compósito de Fibra de Carbono MBrace CF160, que possui as propriedades descritas na tabela 02.

Tabela 02 – Características do Compósito

Propriedades - Compósito de Fibra de Carbono MBrace CF160	
Modulo Elástico (ER)	23000 KN/cm ²
Defor. Máx (ϵ_{ru})	1,67 %
Espessura do Reforço (e)	0,330 mm
Resis. Máx Tração	3800 Mpa

Fonte: Adaptado Machado (2006).

Com as informações apresentadas, foi possível realizar os cálculos pertinentes a verificação e ao dimensionamento da manta a ser aplicada nas vigas. A tabela 03 apresenta os resultados dos cálculos e o número de camadas de fibra necessárias para o reforço das vigas V224, V225 e V226. O cálculo é comum as três vigas em referência, pois elas têm o mesmo dimensionamento estrutural e estão submetidas aos mesmos esforços. A planilha de dimensionamento da manta de fibra de carbono pode ser consultada no apêndice A.

Tabela 03: Dimensionamento de reforço estrutural com fibras de carbono das vigas V224, V225 e V226

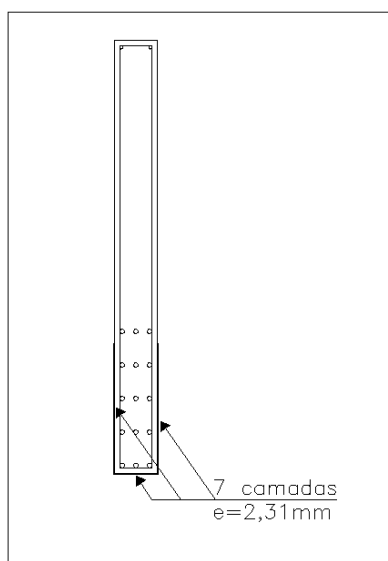
Viga	
Capacidade resistente atual da viga (Mdi)	157083,91 KN.cm
Peso Próprio	
Momento Fletor (Mpp)	5,625 KN/m
Altura da linha neutra (X)	3,49 cm
Força na armadura inferior (FS)	63,56 Kn
Tensão na armadura inferior (σ_S)	2,08 KN/cm ²
Deformação na base inferior (ϵ_{ti})	0,010 %
Novo Carregamento	
Momento fletor (Mdf)	204210 KN.cm
Altura da linha neutra (X)	107,66cm
Força na armadura inferior (FS)	1961,02 KN
Tensão na armadura inferior (σ_S)	64,02 KN/cm ²
Deformação na base inferior (ϵ_{ti})	0,138 %
Verificação: $M_{di} < M_{df}$, logo a viga necessita de reforço.	

Reforço	
Deformação real (ϵ_f)	0,128%
Tensão na fibra (σ_R)	29,34 KN/cm ²
Tensão admissível na fibra (σ_{adm})	360 KN/cm ²
Verificação: $\sigma_R < \sigma_{adm}$, logo a fibra suporta a tensão.	
Área efetiva de reforço	20,89 cm ²
Largura do Reforço	632,98 cm
Número de camadas	7 camadas

Fonte: Autores (2018).

Portanto, para que as vigas V224, V225 e V226 atendam aos carregamentos aos quais estão submetidas, serão necessárias sete camadas de fibra de carbono, devidamente aplicadas ao longo da extensão das três vigas.

Figura 20 – Corte da viga com a fibra de carbono aplicada



Fonte: Autores (2018).

4.3 ANÁLISE DE CUSTO DO REFORÇO COM MANTA DE FIBRA DE CARBONO PARA O ESTUDO DE CASO

Para o levantamento do custo relacionado a aplicação da manta nas vigas a serem reforçadas, foi realizada a cotação com o fornecedor da manta e gerada a planilha

orçamentária, o cronograma e as demais planilhas que compõem o orçamento. Para melhor entendimento e comparação com o custo do serviço que foi contratado pela PMA, todas estão disponíveis para consulta nos apêndices.

Apêndice B – Cronograma físico-financeiro

Apêndice C – Resumo do orçamento

Apêndice D – Planilha Orçamentária

Apêndice E – Memória de Cálculo

Apêndice F – Composição de Custo

Apêndice G – Cotação

Apêndice H – Composição BDI

Apêndice I – Composição Lei Social

Conforme o Apêndice B e C é possível verificar que o tempo estimado para execução do reforço com manta de fibra de carbono é de 30 dias, com um custo total de R\$ 175.531,14, considerando a data base da planilha Janeiro/2018. Em consulta ao *site* Geo Obras, tem-se acesso ao cronograma e a planilha orçamentária da empresa contrata pela PMA, onde se apresenta um prazo de 60 dias e um valor total de R\$ 167.620,38 para execução dos serviços, sendo a data base Abril/2017.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve por objetivo analisar a aplicação da manta de fibra de carbono como reforço estrutural em vigas de concreto armado que apresentavam patologias em uma unidade de ensino do município de Aracruz. A proposta do estudo era compará-la com uma solução já adotada no local: a instalação de vigas metálicas.

Para alcançar o objetivo realizou-se uma pesquisa bibliográfica exploratória, buscando-se conhecimento sobre a aplicação da manta de fibra de carbono no reforço estrutural de vigas submetidas à flexão. Com base no “Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono”, elaborou-se o dimensionamento e detalhamento da aplicação da manta no estudo de caso em referência, além do levantamento de custos para o sistema proposto, através do “Manual para Elaboração de Orçamentos do IOPES”.

Os principais resultados obtidos sugerem que a manta de fibra de carbono é uma solução eficiente para o reforço de vigas submetidas a momentos fletores superiores aos projetados. Em comparação ao método empregado no estudo de caso em questão, o reforço por meio de adição de perfis metálicos, a fibra de carbono possui inúmeras vantagens do ponto de vista de aplicação e estético, por suas características de leveza, alta resistência mecânica e rápida execução. Além disso, o reforço com a manta de fibra de carbono pode ser executado sem a necessidade de isolamento da área e não implica em rebaixamento do pé direito do local, o que se torna uma grande vantagem quando o espaço é público, como é o caso de escolas.

Quanto ao custo, a execução de reforço com manta de fibra de carbono apresentou pequeno aumento em relação à instalação de vigas metálicas, cerca de R\$ 7.910,76, que representa 4,72% do valor do serviço contratado pela PMA. E, ainda, deve-se levar em conta que as planilhas foram elaboradas com diferença de aproximadamente um ano de data base, podendo haver alteração no preço de alguns itens.

Em relação ao tempo de execução, pode-se observar redução à metade do estimado para instalação das vigas metálicas. O que é uma grande vantagem

quando se considera que o ambiente é público e a demanda de utilização do local é constante.

Sendo assim, chega-se à conclusão de que o custo-benefício da aplicação da manta de fibra de carbono como solução para o reforço estrutural nas vigas V223, V224 e V226 na unidade de ensino em Aracruz supera o reforço com vigas metálicas que foi executado.

Este estudo limita-se a comparar a técnica de aplicação da manta da fibra de carbono à instalação de perfis metálicos, e não a outros métodos, o que pode apresentar conclusões diferentes se os parâmetros de referência forem outros.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomendamos a realização de ensaios de resistência e a aplicação in loco da manta de fibra de carbono, para clareza dos resultados da pesquisa bibliográfica que realizamos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T.G.M. (2001). **Reforço de vigas de concreto armado por meio de cabos externos protendidos**. São Carlos, 142p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Disponível em: < http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2001ME_TatianaGesteiraMartinsdeAlmeida.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2018.

ANDRADE, Paulo H. de. **Evolução do concreto armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Civil. Universidade Anhembimorumbi. São Paulo, 2006. Disponível em < https://dadospdf.com/download/concreto-armado-_5a450e27b7d7bc891f9c90d9_pdf>. Acesso em: 11 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

BEBER, Andriei José. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2003. 317 p. Disponível em < <http://hdl.handle.net/10183/2974>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

BRASIL. Tribunal de Contas Do Estado do Espírito Santo. Geo-Obras. **Execução da Obra de Reforço Estrutural de Vigas de Sustentação de Caixa Dagua (Bloco A) na EMEF Placidino Passos**. Disponível em: <<https://geoobras.tce.es.gov.br/cidadao/Obras/ObrasPaginaInteiraDetalhes.aspx?IDOBRA=12191&tipo=I>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Instituto de Obras Públicas. **Manual para elaboração de Orçamentos de Obras Públicas**. Disponível em: < <https://iopes.es.gov.br/Media/iopes/Fa%C3%A7a%20Certo/Manual%20de%20Elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20Or%C3%A7amentos%20-%20Obras.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

JUVANDES, L. F. P. **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.

MACHADO, Ari de Paula. **Apresentação na ABECE – São Paulo: Reforço Estrutural com Base em Lâminas e Barras de Fibra de Carbono**. Ago. 2006. 90 slides. Apresentação em Power-point.

MACHADO, Ari de Paula. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono**. Belo Horizonte, 2002. Disponível em: <www.viapol.com.br/media/97576/manual-fibra-de-carbono.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2018.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço de Estruturas de Concreto com Fibras de Carbono**. Revista Técnica, São Paulo, Ed. 125, p. 76-80, ago. 2007.

PORTAL AECWEB. **Fibra de Carbono é Usada para Reforçar Estruturas de Concreto já Existentes**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/fibra-de-carbono-e-usada-para-reforcar-estruturas-de-concreto-ja-existentes_12079_10_0>. Acesso em: 21 abr. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARACRUZ. **Relatório de Visita Técnica: Verificação de Vigas de Sustentação de Caixa de Água**. Aracruz, 2016.

REIS, Lília S. N. **Sobre a recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia de estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2001. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8AKG76/sobre_a_recupera_o_e_refor_o_das_estruturas_do_concreto_armado.pdf;sequence=1>. Acesso em: 17 mai. 2018.

RODRIGUES, Joaquin. **Reforçando o Concreto com Fibrocabon-E**. Revista Recuperar, Rio de Janeiro, n.º 65, p. 4-9, mai. 1996.

SOUZA, V.C.M., RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1ed. São Paulo: Pini, 1998.

SILVA, E. A. **Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. 2006. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

SILVA, P.M. **Reabilitação de Vigas de Concreto Armado por Encamisamento na Face Comprimida**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil – UFG, Goiânia, 2011.

TECKNICAS ESPECIAIS DE ENGENHARIA LTDA. **MAZZAFERRO – Indústria em São Paulo – Reforço Estrutural – Fibra de Carbono**. Disponível em: <<http://www.tecknicas.com.br/2018/03/08/mazzaferro-industria-em-sao-paulo-reforco-estrutural-fibra-de-carbono/>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DA MANTA DE FIBRA DE CARBONO

PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO DE REFOÇO EM FIBRA DE CARBONO	
1 - DADOS DA VIGA A SER REFORÇADA	
FCK	25 Mpa
FYK	500 Mpa
FCD	1,79 KN/Cm ²
FYD	43,48 KN/Cm ²
Bw	15 cm
h	150 cm
d	147,2 cm
As	30,00 cm ²
As'	0,63 cm ²
As Total	30,63 cm ²
DESENHO ESQUEMÁTICO DA VIGA	
2 - MATERIAL UTILIZADO PARA O REFORÇO - CARBONO MBRACE CF160	
CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL:	
Modulo Elástico (ER)	23000 KN/cm ²
Deform. Máx (ε _{ru})	1,67% %
Espessura do Reforço (e)	0,330 mm
Resis. Máx Tração	3800 Mpa
3 - CÁLCULO DA CAPACIDADE RESISTENTE DA VIGA (MDI)	
EQUAÇÃO 01	$AS * F_{yd} = \psi * B_w * \gamma * F_{cd}$
EQUAÇÃO 02	$M_{di} = AS * F_{yd} * (d - 0,5\gamma)$
Resolvendo a Equação 01 e substituindo o valor de γ na Equação 02:	
EQUAÇÃO 01	$\gamma =$ 58,49 cm
EQUAÇÃO 02	$M_{di} =$ 157083,91 KN.cm

4 - COMPARAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE (Mdi) COM O ESFORÇO REAL DA VIGA (Mdf):

MDI	157083,91 KN.cm
MDF	204210,00 KN.cm

MDI	<	MDF
157083,91	<	204210,00

LOGO, A VIGA NECESSITA SER REFORÇADA

5 - CÁLCULO DA DEFORMAÇÃO EXISTENTE NA VIGA COM A UTILIZAÇÃO DO DESCARREGAMENTO:

EQUAÇÃO 03	$P_p = \gamma_{Con} * B_w * H$
------------	--------------------------------

$\gamma_{Con} =$	25,00 KN/m ³
------------------	-------------------------

EQUAÇÃO 03	$P_p =$	5,625 KN/m
------------	---------	------------

6 - CÁLCULO DO MOMENTO FLETOR EXISTENTE NA VIGA (AUXILIO DO FTOOL):

MOMENTO MÁX (MDP) =	66,2 KN.M
---------------------	-----------

6 - CÁLCULO DA LINHA NEUTRA DA VIGA:

É possível encontrar a posição da linha neutra, por equilíbrio, através de uma equação do segundo grau de modelo $ax^2+bx+c=0$ onde x é a posição da linha neutra, tem-se então que:

EQUAÇÃO 04	$AX^2 + BX + C = 0$
------------	---------------------

ONDE,

EQUAÇÃO 05	$A = B_w * \psi * F_{cd} * (\zeta^2/2)$
------------	---

EQUAÇÃO 06	$B = -(b_w * \psi * f_{cd} * \zeta * d)$
------------	--

EQUAÇÃO 07	$C = MDP * 1,4$
------------	-----------------

RESOLVENDO:

EQUAÇÃO 05	$A =$	7,29 KN/cm
------------	-------	------------

EQUAÇÃO 06	$B =$	-2681,14 KN/cm
------------	-------	----------------

EQUAÇÃO 06	$C =$	9268,00 KN/cm
------------	-------	---------------

EQUAÇÃO 04	$AX^2 + BX + C = 0$
------------	---------------------

$\Delta =$	6918431,02
------------	------------

X1	364,51 CM
X2	3,49 CM

7 - CÁLCULO DA FORÇA NA ARMADURA INFERIOR (FS):

EQUAÇÃO 07		$FS = \psi * Fcd * Bw * \zeta * X$
EQUAÇÃO 07	FS =	63,56 KN
8 - CÁLCULO DA TENSÃO NA ARMADURA INFERIOR:		
EQUAÇÃO 08		$\sigma_s = FS/AS$
EQUAÇÃO 08	$\sigma_s =$	2,08 KN/cm ²
9 - DEFORMAÇÃO NA ARMADURA INFERIOR:		
EQUAÇÃO 09		$\epsilon_{si} = \sigma_s/ER$
ER AÇO =	21000 KN/cm ²	
EQUAÇÃO 09	ϵ_{si}	0,010% %
10 - DEFORMAÇÃO INICIAL NA BASE INFERIOR DA VIGA :		
EQUAÇÃO 10		$\epsilon_{ti} = \epsilon_{si} * ((h-x)/(d-x))$
EQUAÇÃO 10	ϵ_{ti}	0,010% %
11 - CÁLCULO DA DEFORMAÇÃO EXISTENTE NA VIGA COM A UTILIZAÇÃO DO CARREGAMENTO:		
O processo para encontrar o valor da linha neutra para esse caso é análogo ao caso interior, sendo "c" o único termo que sofre alteração da equação de segundo grau, onde se tem:		
C =	204210,00 KN.cm	
EQUAÇÃO 11		$AX^2 + BX + C = 0$
ONDE,		
EQUAÇÃO 12		$A = Bw * \psi * Fcd * (\zeta^2/2)$
EQUAÇÃO 13		$B = -(bw * \psi * fcd * \zeta * d)$
EQUAÇÃO 14		C =
RESOLVENDO:		
EQUAÇÃO 12	A =	7,29 KN/cm
EQUAÇÃO 13	B =	-2681,14 KN/cm
EQUAÇÃO 14	C =	204210,00 KN/cm
EQUAÇÃO 11		$AX^2 + BX + C = 0$
$\Delta =$	1237264,16	

X1	260,34 CM
X2	107,66 CM

12- CÁLCULO DA FORÇA NA ARMADURA INFERIOR (FS):

EQUAÇÃO 15	$FS = \psi * F_{cd} * B_w * \zeta * X$
EQUAÇÃO 15	FS = 1961,02 KN

13 - CÁLCULO DA TENSÃO NA ARMADURA INFERIOR:

EQUAÇÃO 15	$\sigma_s = FS/AS$
EQUAÇÃO 15	$\sigma_s = 64,02 \text{ KN/cm}^2$

14- DEFORMAÇÃO NA ARMADURA INFERIOR:

EQUAÇÃO 16	$\epsilon_{si} = \epsilon_c * ((d-x)/x)$
Considerando a deformação no concreto (ϵ_c) de 0,35%,	
EQUAÇÃO 16	$\epsilon_{si} = 0,13\%$

11 - DEFORMAÇÃO NA BASE INFERIOR DA VIGA :

EQUAÇÃO 17	$\epsilon_{ti} = \epsilon_{si} * ((h-x)/(d-x))$
EQUAÇÃO 17	$\epsilon_{ti} = 0,138\%$

12 - DEFORMAÇÃO REAL DA VIGA :

EQUAÇÃO 18	$\epsilon_f = \epsilon_{ti} (\text{inicial}) - \epsilon_{ti} (\text{final})$
EQUAÇÃO 18	$\epsilon_f = 0,128\%$

13 - TENSÃO QUE A FIBRA ESTARÁ SUBMETIDA (LEI DE HOOKE) :

EQUAÇÃO 19	$\sigma_R = \epsilon_f * E_R$
ER DA FIBRA UTILIZADA= 23000 KN/cm ²	
EQUAÇÃO 19	$\sigma_R = 29,34 \text{ KN/cm}^2$

O fabricante disponibiliza a informação da tensão máxima de tração que o Reforço pode suportar e, portanto deve-se realizar essa verificação. Para o material utilizado uma tensão máxima de tração de 380 KN/cm², portanto:

29,34	<	380,00	OK!
-------	---	--------	-----

14 - ÁREA EFETIVA DO REFORÇO (AR):

EQUAÇÃO 20	$M_d = A_s * f_{yd} * (d - 0,4x) + A_R * \sigma_R * (h - 0,4x)$
------------	---

EQUAÇÃO 20	AR =	20,89 cm2
------------	------	-----------

15 - CÁLCULO DA LARGURA DO REFORÇO (LI):

EQUAÇÃO 21	LI = AR / e	
------------	-------------	--

EQUAÇÃO 21	LI =	632,98 cm
------------	------	-----------

16 - CÁLCULO NÚMERO DE CAMADAS (N):

EQUAÇÃO 22	N = LI / (C- 2*S)	
------------	--------------------	--

Onde C é a Comprimento em centímetros do reforço

EQUAÇÃO 22	N =	7,00 CAMADAS
------------	-----	--------------

APÊNDICE B – CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

CRONOGRAMA FÍSICO E FINANCEIRO									
OBRA: REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO					LS: 128,33%				
Local: ARACRUZES					BDI: 20,30% - Equipamentos 30,90% - Serviços (materiais e instalações)				
					PRAZO DA OBRA: 30 dias				
					DATA BASE: Janeiro/2018				
CRONOGRAMA FÍSICO E FINANCEIRO									
ITEM	SERVIÇO	VALORES DO ITEM		SEMANA 01	SEMANA 02	SEMANA 03	SEMANA 04		
		R\$	%						
01	SERVIÇOS PRELIMINARES	7.876,48	4,49%	5.513,54 70,00% 0,00	2.362,94 30,00% 282,19	0,00 0,00% 0,00	0,00 0,00% 0,00		0,00
02	BORA-FORA	282,19	0,16%	0,00% 5.664,18	100,00% 1.416,04	0,00% 0,00	0,00% 0,00		0,00%
03	INSTALAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS	7.080,22	4,03%	80,00% 0,00	20,00% 4.395,54	0,00% 4.395,54	0,00% 0,00		0,00%
04	RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS	8.791,08	5,01%	0,00% 0,00	50,00% 19.015,89	50,00% 63.386,30	0,00% 44.370,41		0,00%
05	REFORÇO DE ESTRUTURAS COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO	126.772,60	72,22%	0,00% 0,00	15,00% 0,00	50,00% 0,00	35,00% 545,83		0,00%
06	PAREDES E PAINÉIS	545,83	0,31%	0,00% 0,00	0,00% 0,00	0,00% 0,00	100,00% 973,00		0,00%
07	TRATAMENTO CONSERVAÇÃO E LIMPEZA	973,00	0,55%	0,00% 1.703,19	0,00% 4.186,10	0,00% 10.328,15	100,00% 6.992,30		0,00%
08	ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA OBRA	23.209,74	13,22%	7,34% 0,00	18,04% 0,00	44,50% 0,00	30,13% 0,00		0,00%
TOTAL GERAL		175.531,14	100,00%						
		VALOR DO SERVIÇO EXECUTADO NO MES		12.880,90	31.658,70	78.109,99	52.881,54		
		PORCENTAGEM		7,34%	18,04%	44,50%	30,13%		
		VALOR ACUMULADO DOS SERVIÇOS EXECUTADOS		12.880,90	44.539,60	122.649,60	175.531,14		
		PORCENTAGEM ACUMULADO		7,34%	25,37%	69,87%	100,00%		

APÊNDICE C – RESUMO DO ORÇAMENTO

RESUMO DO ORÇAMENTO			
ITEM	SERVIÇO	VALORES	
		R\$	%
01	SERVIÇOS PRELIMINARES	7.876,48	4,49%
02	BORA-FORA	282,19	0,16%
03	INSTALAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS	7.080,22	4,03%
04	RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS	8.791,08	5,01%
05	REFORÇO DE ESTRUTURAS COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO	126.772,60	72,22%
06	PAREDES E PAINÉIS	545,83	0,31%
07	TRATAMENTO CONSERVAÇÃO E LIMPEZA	973,00	0,55%
08	ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA OBRA	23.209,74	13,22%
	TOTAL EM R\$	R\$ 175.531,14	100,00%

APÊNDICE D – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA

REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO						
OBRA: REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO				LS: 128,33%		
Local: ARACRUZ/ES				BDI: 30,90% - Serviços (materiais e instalações)		
				PRAZO DA OBRA: 30 dias		
				DATA BASE: Janeiro/2018		
PLANILHA ORÇAMENTARIA						
ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	QUANT.	PREÇO	PREÇO	REFERÊNCIA
01	SERVIÇOS PRELIMINARES					
01.01	RETIRADAS					
01.01.01	RETIRADA DE REVESTIMENTO ANTIGO EM REBOCO	M2	62,57	7,89	493,68	LABOR-010208
01.01.02	REMOÇÃO CUIDADOSA DO CONCRETO AFETADO, ATRAVÉS DE ESCARIFICAÇÃO (CONSIDERANDO ESP. ESCARIFICADA DE 5CM)	M2	62,57	117,73	7.366,37	LABOR-040802
01.01.03	DEMOLIÇÃO DE ELEMENTOS VAZADOS CERÂMICOS OU DE CONCRETO	M3	0,36	45,64	16,43	LABOR-010222
	SUBTOTAL 01				7.876,48	
02	BORA-FORA					
02.01	ESCAVAÇÕES					
02.01.01	ÍNDICE DE PREÇO PARA REMOÇÃO DE ENTULHO DECORRENTE DA EXECUÇÃO DE OBRAS (CLASSE A CONAMA - NBR 10.004 - CLASSE II-B), INCLUINDO ALUGUEL DA CAÇAMBA, CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA EM ÁREA LICENCIADA	M3	5,05	55,88	282,19	LABOR-030304
	SUBTOTAL 02				282,19	
03	INSTALAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS					
03.01	INFRA-ESTRUTURA					
03.01.01	PLACA DE OBRA NAS DIMENSÕES DE 2,0 X 4,0 M, PADRÃO IOPES	M2	8,00	186,19	1.489,52	LABOR-020305
03.01.02	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE CONTAINER LOCADO PARA BARRACÃO DE OBRA	UND	3,00	916,30	2.748,90	LABOR-020344
03.01.03	ALUGUEL MENSAL CONTAINER PARA ALMOXARIFADO, INCL. PORTA, 2 JANELAS, 1 PT ILUMINAÇÃO, ISOLAMENTO TÉRMICO (TETO), PISO EM COMP. NAVAL PINTADO, CERT. NR18, INCL. LAUDO DESCONTAMINAÇÃO.	MS	1,00	466,00	466,00	LABOR-020356
03.01.04	ALUGUEL MENSAL CONTAINER PARA ESCRITÓRIO, SEM BANHEIRO, DIM. 6.00X2.40M, INCL. PORTA, 2 JANELAS, ABERT P/ AR COND., 2 PT ILUMINAÇÃO, 2 TOMADAS ELÉT. E 1 TOMADA TELEF. ISOLAMENTO TÉRMICO (TETO E PAREDES), PISO EM COMP. NAVAL, CERT. NR18, INCL. LAUDO DESCONTAMINAÇÃO.	MÊS	1,00	628,32	628,32	LABOR-020343
03.01.05	ALUGUEL MENSAL CONTAINER PARA VESTIÁRIO, INCL. PORTA, VENEZIANAS DE CIRCULAÇÃO, 1 PT ILUMINAÇÃO, ISOLAMENTO TÉRMICO (TETO), PISO EM COMP. NAVAL PINTADO, CERT. NR18, INCL. LAUDO DESCONTAMINAÇÃO.	MS	1,00	431,97	431,97	LABOR-020354
03.01.06	LOCAÇÃO DE ANDAIME METÁLICO PARA TRABALHO EM FACHADA DE EDIFÍCIO (ALUGUEL DE 1 M² POR 1 MÊS) INCLUSIVE FRETE, MONTAGEM E DESMONTAGEM	M2	40,35	8,72	351,85	LABOR-020339
03.01.07	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PROTEÇÃO PARA ANDAIME FACHADEIRO CONSIDERANDO PLATAFORMA, RODAPÉ E GUARDA-CORPO EM MADEIRA, INCLUSIVE ENTELAMENTO, CONFORME NR-18 (MEDIDO POR M2 DE FACHADA)	M2	11,25	22,41	252,11	LABOR-020348
03.01.08	TAPUME TELHA METÁLICA ONDULADA 0,50MM BRANCA H=2,20M, INCL. MONTAGEM ESTR. MAD. 8"X8", C/ADESIVO "IOPES" 60X60CM A CADA 10M, INCL. FAIXAS PINT. ESMALTE SINT. CORES AZUL C/ H=30CM E ROSA C/ H=10CM (REAPROVEITAMENTO 2X)	M	5,00	142,31	711,55	LABOR-020350
	SUBTOTAL 03				7.080,22	
04	RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS					
04.01						
04.01.01	LIMPEZA DE AÇO COM LIXAMENTO E ESCOVAMENTO COM ESCOVA DE AÇO, ATÉ A COMPLETA REMOÇÃO DE PARTÍCULAS SOLTAS, MATERIAIS INDESEJÁVEIS E CORROSÃO	M2	62,57	20,85	1.304,58	LABOR-040806
04.01.02	APLICAÇÃO DE SIKA TOP 108 ARMATEC OU EQUIVALENTE, NAS FERRAGENS A SEREM RECUPERADAS	M2	62,57	61,01	3.817,40	LABOR-040807
04.01.03	REVESTIMENTO EXTERNO COM ARGAMASSA CORRETIVA TIPO SIKA MONOTOP 622 BR OU EQUIVALENTE, ESP. 5MM	M2	62,57	58,64	3.669,10	LABOR-040818
	SUBTOTAL 04				8.791,08	
05	REFORÇO DE ESTRUTURAS COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO					
05.01						
05.01.01	EXECUÇÃO DE REFORÇO EM MANTA DE FIBRA DE CARBONO, MARCAS DE REFERÊNCIA MBRACE CF160 300/500 , INCLUSIVE ADESIVOS ESTRUTURAIS DE FIXAÇÃO	M2	213,89	592,70	126.772,60	EST-001
	SUBTOTAL 05				126.772,60	
06	PAREDES E PAINÉIS					
06.01	ALVENARIA DE VEDAÇÃO					
06.01.01	COBOGÔ DE CONCRETO 40 X 40 X 10 CM, TIPO RETO, ASSENTADOS COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA NO TRAÇO 1:3, ESPESSURA DAS JUNTAS 15 MM	M2	2,40	128,98	309,55	LABOR-050112
06.02	PINTURA					
06.02.01	PINTURA COM TINTA ACRÍLICA, MARCAS DE REFERÊNCIA SUVINIL, CORAL OU METALTEX, INCLUSIVE SELADOR ACRÍLICO, SOBRE CONCRETO OU BLOCOS DE CONCRETO, A TRÊS DEMÃOS	M2	12,00	19,69	236,28	LABOR-190203
	SUBTOTAL 06				545,83	
07	TRATAMENTO CONSERVAÇÃO E LIMPEZA					
07.01	LIMPEZA FINAL E GERAL DA OBRA					
07.01.01	LIMPEZA GERAL DA OBRA	M2	100,00	9,73	973,00	LABOR-200401
	SUBTOTAL 07				973,00	
08	ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA OBRA					
08.01.01	EQUIPE DE OBRA, INCLUINDO ENGENHEIRO PLENO E ENCARREGADO DE OBRAS	CJ	1,00	23.209,74	23.209,74	ADM-001
	SUBTOTAL 08				23.209,74	
	TOTAL GERAL COM BDI				R\$ 175.531,14	

APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO

MEMÓRIA DE CÁLCULO									
CÓDIGO	DESCRIÇÃO SERVIÇO	UNIDADE	ELEMENTOS					QUANT. DO SERVIÇO	
01 SERVIÇOS PRELIMINARES									
01.01 RETIRADAS									
01.01.01	RETIRADA DE REVESTIMENTO ANTIGO EM REBOCO	M2	C (m)	L (m)	H (m)		Qnt	62,57	
	REMOÇÃO DO REBOCO DAS VIGAS								
	VIGAS		9,70	0,15	1,00		3,00	62,57	
01.01.02 REMOÇÃO CUIDADOSA DO CONCRETO AFETADO, ATRAVÉS DE ESCARIFICAÇÃO (CONSIDERANDO ESP. ESCARIFICADA DE 5CM)									
	REMOÇÃO DO CONCRETO SUPERFICIAL DAS VIGAS	M2	C (m)	L (m)	H (m)		Qnt	62,57	
	VIGAS		9,70	0,15	1,00		3,00	62,57	
01.01.03	DEMOLIÇÃO DE ELEMENTOS VAZADOS CERÂMICOS OU DE CONCRETO	M3	C (m)	H (m)	e (m)		Qnt	0,36	
	Demolição de Cobogó para Execução do Serviço		0,80	1,00	0,15		3,00	0,36	
02 BORA-FORA									
02.01									
02.01.01	ÍNDICE DE PREÇO PARA REMOÇÃO DE ENTULHO DECORRENTE DA EXECUÇÃO DE OBRAS (CLASSE A CORAMÁ - NR.10.004 - CLASSE II-B), INCLUINDO ALUGUEL DA CAÇAMBA, CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA EM ÁREA LICENCIADA	M3	ÁREA (M²)	H (m)	ESP (m)		Qnt	5,05	
	VOLUME DE RETIRADAS		62,57		0,03		1,00	1,56	
	Demolição de Cobogó para Execução do Serviço		62,57		0,05		1,00	3,13	
	Demolição de Cobogó para Execução do Serviço		0,80	1,00	0,15		3,00	0,36	
3 INSTALAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS									
03.01 TAPUMES, BARRACÕES E COBERTURAS									
03.01.01	PLACA DE OBRA NAS DIMENSÕES DE 2,0 X 4,0 M, PADRÃO IOPEs	M2	C (m)	H (m)	e (m)		Qnt	8,00	
	Canteiro de Obras		4,00	2,00				8,00	
03.01.02 MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE CONTEINER LOCADO PARA BARRACÃO DE OBRA									
	Canteiro de Obras	UND	C (m)	H (m)	e (m)		Qnt	3,00	
							3,00	3,00	
03.01.03 ALUGUEL MENSAL CONTAINER PARA ALMOXARIFADO, INCL. PORTA, 2 JANELAS, 1 PT LUMINAÇÃO, ISOLAMENTO TÉRMICO (TETO), PISO EM COMP. NAVAL PINTADO, CERT. NR18, INCL. LAUDO DESCONTAMINAÇÃO.									
	Canteiro de Obras	M5	C (m)	H (m)	Qnt. Mês		Qnt	1,00	
					1,00			1,00	
03.01.04 ALUGUEL MENSAL CONTAINER PARA ESCRITÓRIO, SEM BANHEIRO, DIM. 6,00X2,40M, INCL. PORTA, 2 JANELAS, ABERT P/ AR COND., 2 PT LUMINAÇÃO, 2 TOMADAS ELET. E 1 TOMADA TELEF. ISOLAMENTO TÉRMICO (TETO E PAREDES), PISO EM COMP. NAVAL, CERT. NR18, INCL. LAUDO DESCONTAMINAÇÃO.									
	Canteiro de Obras	M2	C (m)	H (m)	Qnt. Mês		Qnt	1,00	
					1,00			1,00	
03.01.05 ALUGUEL MENSAL CONTAINER PARA VESTIÁRIO, INCL. PORTA, VENEZIANAS DE CIRCULAÇÃO, 1 PT LUMINAÇÃO, ISOLAMENTO TÉRMICO (TETO), PISO EM COMP. NAVAL PINTADO, CERT. NR18, INCL. LAUDO DESCONTAMINAÇÃO.									
	Canteiro de Obras	M2	C (m)	H (m)	Qnt. Mês		Qnt	1,00	
					1,00			1,00	
03.01.06 LOCAÇÃO DE ANDAIME METÁLICO PARA TRABALHO EM FACHADA DE EDIFÍCIO (ALUGUEL DE 1 M² POR 1 MÊS) INCLUSIVE FRETE, MONTAGEM E DESMONTAGEM									
	Para auxiliar na demolição dos cobogós da parede externa		1,50	7,50	1,00		1,00	11,25	
	Para os serviços de instalação da Manta		9,70	1,00	1,00		3,00	29,10	
03.01.07 FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PROTEÇÃO PARA ANDAIME FACHADEIRO CONSIDERANDO PLATAFORMA, RODAPÉ E GUARDA-CORPO EM MADEIRA, INCLUSIVE ENTELAMENTO, CONFORME NR-18 (MÉDIO POR M2 DE FACHADA)									
	Para auxiliar na demolição dos cobogós da parede externa	M2	C (m)	H (m)	Qnt. Mês		Qnt	11,25	
			1,50	7,50	1,00			11,25	
03.01.08 TAPUME TELHA METÁLICA ONDULADA 0,50MM BRANCA H=2,20M, INCL. MONTAGEM ESTR. MAD. 8"X8". C/ ADESIVO "IOPEs" 60X60CM A CADA 10M, INCL. FAIXAS PINT. ESMALTE SINT. CORES AZUL C/ H=30CM E ROSA C/ H=10CM (REAPROVEITAMENTO 2X)									
	Para auxiliar nos isolamentos de áreas para execução do serviço de reforço estrutural	M	C (m)	H (m)	Qnt. Mês		Qnt	5,00	
			2,50				2,00	5,00	
04 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS									
04.01									
04.01.01	LIMPEZA DE AÇO COM LIXAMENTO E ESCOVAMENTO COM ESCOVA DE AÇO, ATÉ A COMPLETA REMOÇÃO DE PARTÍCULAS SOLTAS, MATERIAIS INDESEJÁVEIS E CORROSÃO	M2	L (m)	C (m)	H (m)		QNT	62,57	
	VIGAS		9,70	0,15	1,00		3,00	62,57	
04.01.02 APLICAÇÃO DE SIKATOP 108 ARMATEC OU EQUIVALENTE, NAS FERRAGENS A SEREM RECUPERADAS									
	VIGAS	M2	L (m)	C (m)	H (m)		QNT	62,57	
			9,70	0,15	1,00		3,00	62,57	
04.01.03 REVESTIMENTO EXTERNO COM ARGAMASSA CORRETIVA TIPO SIKAMONOTOP 622 BR OU EQUIVALENTE, ESP. 5MM									
	VIGAS	M2	L (m)	C (m)	H (m)		QNT	62,57	
			9,70	0,15	1,00		3,00	62,57	
05 REFORÇO DE ESTRUTURAS COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO									
05.01									
05.01.01	EXECUÇÃO DE REFORÇO EM MANTA DE FIBRA DE CARBONO, MARCAS DE REFERÊNCIA MIRACCE CF160 300/500, INCLUSIVE ADESIVOS ESTRUTURAIS DE FIXAÇÃO	M2	C (m)	L (m)	H (m)	QNT VIGAS	QNT DE CAMADAS	213,89	
	VIGA		9,70	0,15	0,45	3,00	7,00	213,89	
06.01 ALVENARIA DE VEDAÇÃO									
06.01.01	COBOGÓ DE CONCRETO 40 X 40 X 10 CM, TIPO RETO, ASSENTADOS COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA NO TRAÇÃO 1:3, ESPESSURA DAS JUNTAS 15 MM	M2	C (m)	L (m)	H (m)			2,40	
	RECOMPOSIÇÃO DO COBOGÓ RETIRADO		0,80	1,00			3,00	2,40	
06.01 ALVENARIA DE VEDAÇÃO									
06.02.01	PINTURA COM TINTA ACRÍLICA, MARCAS DE REFERÊNCIA SUVINIL, CORAL OU METALATEX, INCLUSIVE SELADOR ACRÍLICO, SOBRE CONCRETO OU BLOCOS DE CONCRETO, A TRÊS DEMÃS	M2	C (m)	L (m)	QNT	COEF		12,00	
	RECOMPOSIÇÃO DO COBOGÓ RETIRADO		0,80	1,00	3,00		5,00	12,00	
07 TRATAMENTO CONSERVAÇÃO E LIMPEZA									
07.01 LIMPEZA FINAL E GERAL DA OBRA									
07.01.01	LIMPEZA GERAL DA OBRA	M2	ÁREA (m2)			QNT		100,00	
	Limpeza estimada de área de projeção trabalhada na execução das vigas metálicas		100,00			1,00		100,00	
08 ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA OBRA									
08.01 ADMINISTRAÇÃO LOCAL DA OBRA									
08.01.01	EQUIPE DE OBRA, INCLUINDO ENGENHEIRO PLENO E ENCARREGADO DE OBRAS	CJ	C (m)	L (m)			QNT	1,00	
							1,00	1,00	

APÊNDICE F – COMPOSIÇÃO DE CUSTO

OBRA: REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO						LS:	BDI:	DATA-BASE	
Local: ARACRUZ/ES						128,33%	30,90%	jan/18	
CÓDIGO	COMPOSIÇÃO DE REFERÊNCIA			DESCRIÇÃO SERVIÇO	UNIDADE				CUSTO UNIT. DO SERVIÇO (R\$)
EST- 001				EXECUÇÃO DE REFORÇO EM MANTA DE FIBRA DE CARBONO, MARCAS DE REFERÊNCIA MBRACE CF160 300/500 , INCLUSIVE ADESIVOS ESTRUTURAIS DE FIXAÇÃO	M2				592,70
	TIPO	FONTE	REF.	DESCRIÇÃO DO ITEM	TIPO	UNIDADE	COEF.	V. UNIT.	V. TOTAL
	I	LABOR	10139	PEDREIRO	MO	H	3,000000	6,33	18,99
	I	LABOR	10146	SERVEITE	MO	H	3,000000	4,65	13,95
	I	COTAÇÃO	C-EST-001	MANTA EM FIBRA DE CARBONO MBRANCE CF130 300/500	MA	M2	1,100000	201,67	221,83
	I	COTAÇÃO	C-EST-002	ADESIVO ESTRUTURAL TIXOTRÓPICO MC DUR 1209 TX	MA	M2	1,050000	101,00	106,05
	I	COTAÇÃO	C-EST-003	ADESIVO ESTRUTURAL DE IMPREGNAÇÃO MC DUR 1209	MA	M2	1,050000	47,33	49,70
RESUMO - DISCRIMINAÇÃO					TAXA		TOTAL S/ BDI	BDI	TOTAL
MÃO DE OBRA - (TOTAL MO)							32,94		
ENCARGOS SOCIAIS					128,33%		42,27		
TOTAL MÃO OBRA							75,21	23,24	98,45
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS - (TOTAL MA)									
TOTAL MATERIAIS E EQUIPAMENTOS							377,58	116,67	494,25
TOTAL (MÃO DE OBRA + MATERIAIS + EQUIPAMENTOS)							452,79		
BDI					30,90%				
TOTAL DO SERVIÇO									592,70

OBRA: REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO						LS:	BDI:	DATA-BASE	
Local: ARACRUZ/ES						51,04%	30,90%	jan/18	
CÓDIGO	COMPOSIÇÃO DE REFERÊNCIA			DESCRIÇÃO SERVIÇO	UNIDADE				CUSTO UNIT. DO SERVIÇO (R\$)
ADM- 001				EQUIPE DE OBRA, INCLUINDO ENGENHEIRO PLENO	CJ				23.209,74
	TIPO	FONTE	REF.	DESCRIÇÃO DO ITEM	TIPO	UNIDADE	COEF.	V. UNIT.	V. TOTAL
	C	LABOR	312017	ENGENHEIRO PLENO (LEIS SOCIAIS = 51,04%)	MA	MS	1,000000	14803,43	14803,43
	C	LABOR	312022	ENCARREGADO DE TURMA (INCL LS=51,04%)	MA	MS	1,000000	2927,46	2927,46
RESUMO - DISCRIMINAÇÃO					TAXA		TOTAL S/ BDI	BDI	TOTAL
MÃO DE OBRA - (TOTAL MO)							0,00		
ENCARGOS SOCIAIS					51,04%		0,00		
TOTAL MÃO OBRA							0,00	0,00	0,00
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS - (TOTAL MA)									
TOTAL MATERIAIS E EQUIPAMENTOS							17.730,89	5.478,85	23.209,74
TOTAL (MÃO DE OBRA + MATERIAIS + EQUIPAMENTOS)							17.730,89		
BDI					30,90%				
TOTAL DO SERVIÇO									23.209,74

APÊNDICE G – COTAÇÃO

COTAÇÕES									
ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	COTACÕES EFETUADAS	PREÇO MÉDIO - VALOR UNIT. (R\$)			OBSERVAÇÕES	
					FORNECEDOR 01	PREÇO 01	DATA PREÇO 01		
C-EST-001	MANTA EM FIBRA DE CARBONO MBRANCE CF130 300/500	M2	1,00	NANO BRASIL - RODRIGO (27) 4141-3951	201,67	maio-18		201,67	
C-EST-002	ADESIVO ESTRUTURAL TIXOTRÓPICO MC DUR 1209 TX	M2	1,00	NANO BRASIL - RODRIGO (27) 4141-3951	101,00	maio-18		101,00	
C-EST-003	ADESIVO ESTRUTURAL DE IMPREGNAÇÃO MC DUR 1209	M2	1,00	NANO BRASIL - RODRIGO (27) 4141-3951	47,33	maio-18		47,33	

APÊNDICE H – COMPOSIÇÃO BDI

REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

OBRA: REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO
Local: ARACRUZ/ES

COMPOSIÇÃO DO BDI

	Para Serviços	Para Equipamentos
GRUPO A		
Despesas Financeiras	0,59%	0,59%
Total Grupo A	0,59%	0,59%
GRUPO B		
Administração Central	4,00%	3,45%
Total Grupo B	4,00%	3,45%
GRUPO C		
Bonificação	6,86%	5,02%
Total Grupo C	6,86%	5,02%
GRUPO D		
Seguros / Garantia	0,80%	0,30%
Riscos	0,97%	0,85%
Total Grupo D	1,77%	1,15%
GRUPO E		
ISS	5,00%	0,00%
PIS	0,65%	0,65%
COFINS	3,00%	3,00%
CPRB	4,50%	4,50%
Total Grupo E	13,15%	8,15%
BDI Total	30,90%	20,30%

OBS:

- 1 - A fórmula para cálculo da taxa a ser acrescida aos custos diretos de um empreendimento a título de Benefícios e Despesas Indiretas é:**

$$\text{BDI} = \frac{\{(1 + A) * (1 + B + D) * (1 + C)\}}{(1 - E)} - 1, \text{ onde:}$$

A = DESPESAS FINANCEIRAS
B = ADMINISTRAÇÃO CENTRAL;
C = BENEFÍCIO / LUCRO;
D = RISCOS, SEGUROS E GARANTIAS;
E = ISS + PIS + COFINS+INSS

2

- Discriminação do BDI**A – Despesas financeiras:**

são aquelas decorrentes do custo do capital de giro para fazer frente às despesas realizadas antes do efetivo recebimento das devidas receitas. Foi apropriada por estimativa com base na média proposta no ACÓRDÃO Nº 2.622/2013, PLENÁRIO de 25 set.2013.

B – Administração Central:

são as despesas relativas à manutenção de parcela do custo do escritório central da empresa, tais como: instalações do imóvel/sede (custo de propriedade ou de locação de imóveis); aquisição e manutenção dos equipamentos da sede (computadores, ar condicionado, veículos e correlatos); despesas administrativas (secretária, vigilante, auxiliar de escritório, contínuo, assessorias terceirizadas - ex. contadoria); despesas com consumo (água, luz, telefone, material para escritório, material para limpeza, alimentos, etc). Foi apropriada por estimativa com base na média proposta no ACÓRDÃO Nº 2.622/2013, PLENÁRIO de 25 set.2013.

C – Benefício/Lucro:

é a parcela que contempla a remuneração do construtor, definidos com base em valor percentual sobre o total dos custos diretos e despesas indiretas, excluídas aquelas referentes às parcelas tributárias. A taxa adotada como benefício deve ser entendida como uma provisão de onde será retirado o lucro do construtor, após desconto de todos os encargos decorrentes de inúmeras incertezas que podem ocorrer durante as obras, difíceis de serem mensuradas no seu conjunto com base no ACÓRDÃO Nº 2.622/2013, PLENÁRIO de 25 set.2013.

D – Riscos Imprevistos, Garantias e Seguros:

valores para cobertura de despesas imprevisíveis e os seguros e garantias estabelecidos no Projeto Básico e orientação contante no ACÓRDÃO Nº 2.622/2013, PLENÁRIO de 25 set.2013.

E – Valores Relativos aos Tributos:

– **Impostos sobre serviços de qualquer natureza – ISS**, é imposto de competência municipal, consoante art. 156, inciso III, da Constituição Federal. Alíquota de 5% sobre o valor total da nota fiscal.

– **Contribuição para o Programa de Integração Social – PIS**. A taxa do PIS, definida pelos Decretos-Lei nº 2.445 e 2.449/88, é de 0,65% sobre a receita operacional bruta.

– **Contribuição para o Programa de Financiamento da Seguridade Social – COFINS**, definida pela Lei 9.718/98, é de 3%, sobre a receita operacional bruta.

– **Contribuição Patronal sobre a Receita Bruta**, definida pela Lei 13.161, de 31 de agosto de 2015, é de 4,5%, sobre a receita operacional bruta.

APÊNDICE I – COMPOSIÇÃO LEI SOCIAL

REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO OBRA: REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA EM FIBRA DE CARBONO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO Local: ARACRUZ/ES COMPOSIÇÃO LEI SOCIAL		
GRUPO A - Encargos Sociais Básicos		% IOPEs
A.1	INSS (Art. 22 da Lei 8.212/91)	0,00
A.2	FGTS (Art. 27 do Decreto 99.684/90)	8,00
A.3	SESI/SESC (Lei 8.029/90 e Lei 8.036/90)	1,80
A.4	SENAI/SENAC (Lei 8.029/90 e Decreto-Lei 6246/44)	1,30
A.5	SEBRAE (já considerado no item A.3 e A.4)	0,00
A.6	INCRA (Lei 2.613/55 e Decreto 1.146/70)	0,20
A.7	SALÁRIO-EDUCAÇÃO (Decreto 87.043/82)	2,50
A.8	SEGURO ACIDENTE DO TRABALHO (Lei 8.212/91 e Decreto 3.048/99)	3,00
A.9	SECONCI/Medicina do Trabalho	1,00
TOTAL GRUPO A		17,80%
GRUPO B - Encargos Sociais que recebem a incidência do grupo A		% IOPEs
B.1	Descanso Semanal Remunerado (Art. 66 da CLT e Art. 7º da CF/88)	17,52
B.2	Feriados (Art. 70 da CLT e Lei 605/49)	3,91
B.3	Auxílio doença e acidente do trabalho (Lei 3.607/60 e Art. 131 da CLT)	0,76
B.4	Licença Paternidade (Art. 7º da CF/88)	0,11
B.5	Faltas Legais (Art. 473 da CLT)	0,67
B.6	13º Salário (Lei nº 4090/62)	10,11
B.7	Aviso Prévio Trabalhado (Art. 7º, inciso XXI da CF/88)	0,34
B.8	Dias de Chuvas	-
B.9	Férias Gozadas	-
B.10	Salário Maternidade	-
B.11	Auxílio - Enfermidade	-
TOTAL GRUPO B		33,42%
GRUPO C - Encargos Sociais que não recebem a incidência do grupo A		% IOPEs
C.1	Dispensa sem justa causa (LC 110/01)	5,34
C.2	Férias indenizadas (Art. 129 a 148 da CLT)	11,20
C.3	Aviso prévio indenizado (Art. 7º, inciso XXI da CF/88)	11,29
C.4	FGTS sobre aviso prévio indenizado (Súmula 305 TST)	0,90
C.5	INSS sobre aviso prévio indenizado (Decreto 6.727/09)	0,00
C.6	Aviso prévio trabalhado	-
C.7	Indenização Adicional	-
TOTAL GRUPO C		28,73%
GRUPO D - Reincidência dos encargos sociais básicos		% IOPEs
D.1	Incidência do grupo A sobre o grupo B	5,95%
D.2	Reincidência de Grupo A sobre Aviso Prévio Trabalho e Reincidência do FGTS sobre Aviso Prévio Indenizado	-
TOTAL GRUPO D		5,95%
GRUPO E - Encargos complementares		% IOPEs
E.1	Refeição/alimentação (Convenção Coletiva do Trabalho 2012/2013)	25,75%
E.2	Vale Transporte (Lei nº 7418/85 e Decreto 95.247/87)	6,03%
E.3	Uniforme/equipamento de segurança (Art. 166 da CLT e NR-18 da Lei nº 6.514/77 e Convenção Coletiva do Trabalho 2012/2013)	2,67%
E.4	Plano de Saúde (Convenção Coletiva do Trabalho 2012/2013)	7,98%
TOTAL GRUPO E		42,43%
TOTAL DOS GRUPO (A+B+C+D+E)		128,33%