



**COMPARATIVO ECONÔMICO DE ALTERNATIVAS DE REFORÇOS À
FLEXÃO DE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO**

VITÓRIA

2017



CARLOS LINDEMBERG EMERICK NUNES

CRISTIANO ROSA PEREIRA

**COMPARATIVO ECONÔMICO DE ALTERNATIVAS DE REFORÇOS À
FLEXÃO DE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Patologia das Obras Civas, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Civas.

Prof. Orientador: M.Sc. Leonardo Roncetti

VITÓRIA

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

COMPARATIVO ECONÔMICO DE ALTERNATIVAS DE REFORÇOS À FLEXÃO DE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO

Por

CARLOS LINDEMBERG EMERICK NUNES

CRISTIANO ROSA PEREIRA

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO
IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS PROFESSORES A SEGUIR
MENCIONADOS.

Vitória (ES), 17 de fevereiro de 2017.

Leonardo Roncetti da Silva, M.Sc.

Stela Cristina Verus Assumpção, Esp.

Dante Três Junior, Esp.

Lucas de Carvalho Sthel, Esp.

RESUMO

NUNES, C.L.E.; PEREIRA, C.R. (2017). *COMPARATIVO ECONÔMICO DE ALTERNATIVAS DE REFORÇO À FLEXÃO DE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO*. Curso de Pós-Graduação em Patologia nas Obras Civas do Instituto IDD.

Orientador: Prof. M.Sc. Leonardo Roncetti.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a relação entre o acréscimo de resistência à flexão do elemento estrutural e o custo direto das técnicas de reforços, utilizando adição de armadura, chapa colada de aço e polímero reforçado com fibra de carbono, aplicadas a uma laje maciça de concreto armado. Para o desenvolvimento do trabalho foram adotadas lajes maciças em concreto armado apoiadas com espessuras e vãos livres variados. Aplicaram-se os diferentes tipos de reforços, calcularam-se os acréscimos do momento resistente e levantaram-se os custos diretos para cada intervenção. Concluiu-se que os métodos de reforços que apresentam menores custos diretos, em função das combinações de vãos, espessuras e necessidade de acréscimo de resistência, foram aqueles com adição de armadura e adição de chapa metálica.

Palavras-chave: Reforço estrutural; laje maciça; chapa colada; fibra de carbono; adição de armadura; otimização.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
1.2.	OBJETIVOS	15
1.2.1.	Objetivo Geral	15
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	15
1.3.	HIPÓTESE	16
1.4.	JUSTIFICATIVA	16
1.4.1.	Social	16
1.4.2.	Ambiental.....	16
1.4.3.	Tecnológica	16
1.4.4.	Econômica	16
1.5.	LIMITAÇÕES DE PESQUISA	16
1.6.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.7.	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	17
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	18
2.2.	REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURAS E ACRÉSCIMO DE SEÇÃO.....	19
2.2.1.	Comportamento de elementos reforçados à flexão.....	20
2.3.	REFORÇO COM ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA.....	24
2.3.1.	Método de Cánovas	27
2.4.	REFORÇO COM ADIÇÃO DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO (PRFC)	28
2.4.1.	Método do ACI 440.2R-08.....	31
2.5.	VANTAGENS E DESVANTAGENS	37

3.	APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO	39
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES	39
3.1.1.	Laje	39
3.1.2.	Reforço com adição de armaduras e acréscimo de seção	40
3.1.3.	Reforço com adição de chapa metálica	41
3.1.4.	Reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC).....	43
3.2.	APLICAÇÃO NUMÉRICA.....	44
3.3.	CÁLCULO DO QUANTITATIVO	44
3.3.1.	Reforço com adição de armadura e acréscimo de seção	44
3.3.2.	Reforço com adição de chapa metálica	46
3.3.3.	Reforço com adição de polímero reforçado de fibra de carbono	47
4.	ANÁLISE DE CUSTO.....	49
4.1.	REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURA E ACRÉSCIMO DE SEÇÃO.....	49
4.2.	REFORÇO COM ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA.....	51
4.3.	REFORÇO COM ADIÇÃO DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO (PRFC)	52
5.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	54
5.1.	LAJES COM VÃOS DE 8m	54
5.2.	LAJES COM VÃOS DE 10m	55
5.3.	LAJES COM VÃOS DE 12m	57
5.4.	LAJES COM VÃOS DE 15m	59
5.5.	ANÁLISE GERAL	59
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
6.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE	65
ANEXO	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fator de redução ambiental	32
Tabela 2. Tensões limites no reforço de PRD para o estado limite de serviço para a fibra de vidro, fibra de aramida e fibra de carbono	37
Tabela 3. Vantagens e desvantagens das técnicas de reforços estruturais.	37
Tabela 4. Composição de custo para o reforço com adição de armadura utilizando concreto auto adensável e projetado.	50
Tabela 5. Composição de custo para o reforço utilizando chapa metálica colada	52
Tabela 6. Composição de custo para o reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono.	53
Tabela 7. Resumo dos reforços com menor custo para cada combinação de parâmetros. AA-AD: adição de armadura com concreto auto adensável; AA-P: adição de armadura com concreto projetado; CHM: adição de chapa metálica; FC: adição de fibra de carbono.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reforço de lajes à flexão com adição de concreto armado..	20
Figura 2. Diagrama de equilíbrio de uma seção transversal reforçada.	22
Figura 3. Reforço por adição de chapa colada.	24
Figura 4. Reforço com colagem de chapas metálicas	25
Figura 5. Estado de tensão e deformação de uma viga reforçada segundo Cánovas	27
Figura 6. Reforço de laje à flexão com adição de PRFC.	29
Figura 7. Etapas construtivas dos sistemas compostos com fibras de carbono, CFC.	29
Figura 8. Distribuição de tensões e deformações para uma seção de concreto armado reforçada com PRF sob flexão no estado limite último.	34
Figura 9. Distribuição de tensões e deformações para uma seção de concreto armado reforçada com PRF sob flexão no estado limite de serviço	34
Figura 10. Reforço com adição de armadura e concreto auto adensável	40
Figura 11. Reforço com adição de armadura e concreto projetado.	41
Figura 12. Reforço com adição de chapa metálica.	42
Figura 13. Reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono - PRFC	43
Figura 14 - Planilha eletrônica desenvolvida para cálculo do acréscimo de resistência e quantitativo de materiais utilizados no reforço com adição de armadura e acréscimo de seção.	45
Figura 15 - Planilha eletrônica desenvolvida para cálculo do acréscimo de resistência e quantitativo de materiais utilizados no reforço com adição de chapa metálica.	47
Figura 16 - Planilha eletrônica desenvolvida para cálculo do acréscimo de resistência e quantitativo de materiais utilizados no reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono.	48
Figura 17. Gráfico $M_{ref}/M \times \text{Custo}$ – Laje com vão de 8m e espessura de 15cm.	54

Figura 18. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 8m e espessura de 20cm.	
.....	54
Figura 19. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 8m e espessura de 30cm.	
.....	55
Figura 20. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 10m e espessura de 15cm.	
.....	56
Figura 21. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 10m e espessura de 20cm.	
.....	56
Figura 22. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 10m e espessura de 30cm.	
.....	57
Figura 23. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 12m e espessura de 20cm.	
.....	58
Figura 24. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 12m e espessura de 30cm.	
.....	58
Figura 25. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 15m e espessura de 30cm.	
.....	59

NOTAÇÃO E SIMBOLOGIA

Letras latinas

M_i : Momento fletor atuante no instante da aplicação do reforço;

M_s : Momento fletor atuante na seção;

M_u : Momento fletor solicitante de cálculo;

h : Altura da seção transversal;

x : Altura da linha neutra;

d : Altura útil da seção;

d_r : Altura útil da seção reforçada;

d' : Distância entre a fibra mais comprimida e o centroide da armadura comprimida;

d_f : Distância da fibra mais comprimida e o centroide do reforço de PRF;

c : Profundidade da linha neutra;

k : Razão entre a profundidade da linha neutra e a distância entre a fibra mais comprimida e a armadura tracionada;

b : Largura da seção transversal;

b_w : Largura da seção transversal;

I : Momento de inércia da seção homogeneizada de concreto;

I_{II} : Momento de inércia da seção homogeneizada de concreto no estágio II;

E_{cs} : Módulo de elasticidade secante do concreto;

E_s : Módulo de elasticidade da armadura existente;

A_s' : Área da seção transversal da armadura longitudinal comprimida;

A_s : Área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada;

A_r : Área da seção transversal da armadura longitudinal de reforço;

A : Área de armadura existente;

A_R : Área da armadura de reforço;

A_f : Área da seção transversal do reforço de PRF;

R_n : Resistência de cálculo da estrutura existente, sem reforço;

S_{DL} : Solicitação nominal para carga permanente atuante na estrutura reforçada;

S_{LL} : Solicitação nominal para carga variável atuante na estrutura reforçada;

n : Número de camadas aplicadas de PRF;

t_f : Espessura nominal de uma camada de PRF, em mm;

f_{ck} : Resistência à compressão do concreto;
 f_{yk} : Tensão característica de escoamento da armadura de tração;
 f_{yrk} : Tensão característica de escoamento da chapa de reforço;
 f_{fu} : Tensão última de tração de cálculo do PRF;
 f_{fu*} : Tensão última de tração de cálculo do PRF informada pelo fabricante;
 f'_c : Resistência nominal à compressão do concreto;
 f_{fe} : Tensão efetiva de tração no reforço de PRF na ruptura;
 $f_{s,s}$: Tensão de tração na armadura passiva em serviço;
 f_y : Tensão de escoamento da armadura;
 $f_{c,s}$: Tensão de compressão no concreto em serviço;
 f'_c : Resistência nominal à compressão do concreto;
 f_s : Tensão de tração na armadura passiva;
 f_y : Tensão escoamento do aço;
 $f_{f,s}$: Tensão na fibra de carbono em serviço;
 Z_1 : Braço de alavanca da armadura interna;
 Z_s : Braço de alavanca entre a força de compressão e a força de tração durante aplicação do momento M_s

Letras gregas

ε_{si} : Deformação inicial da armadura existente;
 ε_{ri} : Deformação inicial na altura útil do reforço;
 ε_r : Deformação específica no reforço;
 ε_n : Deformação específica no reforço para um momento fletor qualquer;
 ε_i : Deformação específica no instante da aplicação do reforço;
 $\varepsilon_{r,u}$: Deformação específica do reforço na ruptura;
 ε_c : Deformação específica da armadura passiva tracionada correspondente à tensão nominal máxima;
 ε_{sy} : Deformação específica da armadura passiva tracionada correspondente à tensão de escoamento;
 ε_{fu} : Deformação específica última de cálculo do PRF;
 ε_{fu*} : Deformação específica última do PRF;
 ε_{fd} : Deformação específica no PRF na ruptura por deslocamento;

ε_{fe} : Deformação específica efetiva no PRF na ruptura por deslocamento;

ε_{cu} : Deformação axial última do concreto;

ε_{bi} : Deformação inicial do substrato devido à carga permanente;

ε_s : Deformação específica da armadura passiva tracionada;

α_e : Relação do módulo de elasticidade do aço e do concreto;

σ_s : Tensão admissível na armadura tracionada.

σ_s : Tensão admissível na armadura comprimida.

σ_c : Tensão admissível no concreto;

σ_r : Tensão admissível na armadura de reforço;

$\sigma_{(\varepsilon_{cp} + \varepsilon_{cs})}$: Tensão no concreto referente à soma das deformações impostas pelos momentos M_S e M_P ;

$\sigma_{(\varepsilon_{sp} + \varepsilon_{ss})}$: Tensão na armadura de tração referente à soma das deformações impostas pelos momentos M_S e M_P ;

σ_{srs} : Tensão na chapa de reforço devido ao momento M_S ;

σ_{sp} : Tensão na armadura existente após a execução do reforço;

$\emptyset$: Fator de redução da resistência;

α_1 : Parâmetro de equivalência do diagrama parábola-retângulo (0,85);

β_1 : Parâmetro de equivalência do diagrama parábola-retângulo (0,8).

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por finalidade o estudo comparativo entre a relação entre o custo direto e o acréscimo do momento resistente em lajes maciças de concreto armado, utilizando diferentes técnicas de reforço estrutural. São considerados os reforços com adição de armadura, adição de chapa metálica e fibra de carbono.

Segundo Helene (1992), as intervenções terapêuticas em uma estrutura podem ser divididas em três classes:

- a) Reparo: denominação para soluções de pequenos portes;
- b) Recuperação: intervenção para restabelecer a capacidade portante de parte da estrutura ou de um elemento estrutural;
- c) Reforço: quando se faz necessário aumentar a capacidade portante de uma estrutura com relação à capacidade projetada originalmente.

Dentre os motivos pelos quais o trabalho de reforço em uma estrutura de concreto se faz necessário, podem-se citar, de acordo com Souza (1998): correção de falhas de projeto; aumento da capacidade portante da estrutura para permitir modificações em seu uso; situações não previstas, como choques, incêndios, etc.; e modificação da concepção estrutural por necessidade arquitetônica ou de utilização.

Existem diversos procedimentos para execução do reforço de elementos estruturais de concreto. Souza (1998) cita as seguintes técnicas:

- a) Complementação ou reforço com adição de armaduras: este tipo de reforço consiste no acréscimo de armaduras ao elemento estrutural, tanto para recuperação quanto para reforço, e em recobri-las com concreto, promovendo um aumento na seção do elemento;
- b) Adição de chapas e perfis metálicos: este método utiliza perfis e chapas metálicas, que são coladas no concreto através da resina epóxi ou por meio chumbadores;
- c) Utilização de polímeros reforçados com fibras: o sistema de reforço utiliza a fibra embebida em uma matriz de resina, formando o composto, fixado na estrutura. As fibras mais utilizadas são a fibra de vidro, a fibra de aramida e a fibra de carbono;
- d) Protensão externa: a técnica consiste em aplicar uma força exterior de compressão que seja capaz de compensar acréscimos de tensões internas

nas peças estruturais ou contribuir para um incremento na capacidade resistente dos elementos. Essa força é gerada através de cordoalhas de aço protendidas externamente à superfície do concreto.

Para cada situação de reforço devem ser estudadas suas peculiaridades e as diversas alternativas de reforço devem ser analisadas, considerando as condições de carregamento, configuração geométrica, custo, desempenho, durabilidade, condições de execução e rapidez de execução (Robery e Innes apud Beber, 2003).

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Dentre métodos de reforços, adição de armadura, chapa colada de aço e polímero reforçado com fibra de carbono, executados em uma laje maciça de concreto armado, qual apresenta melhor relação entre o custo direto e o acréscimo de resistência à flexão do elemento estrutural?

1.2. OBJETIVOS

Serão apresentados a seguir os objetivos geral e específico deste trabalho.

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar a relação entre o acréscimo de resistência à flexão do elemento estrutural e o custo direto das técnicas de reforços, utilizando adição de armadura com acréscimo de seção, chapa colada de aço e polímero reforçado com fibra de carbono aplicadas a uma laje maciça de concreto armado.

1.2.2. Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho: calcular o acréscimo de resistência à flexão de uma laje após aplicação de reforços com adição de armadura com acréscimo de seção, chapa colada de aço e polímero reforçado com fibra de carbono; quantificar o custo direto desta intervenção; e analisar a relação entre as duas grandezas.

1.3. HIPÓTESE

Presume-se que a relação entre o acréscimo de resistência à flexão da laje reforçada e o custo direto irá variar de acordo com o tipo de reforço, com a área de reforço acrescentada, com a espessura da laje e com o vão livre do elemento estrutural.

1.4. JUSTIFICATIVA

1.4.1. Social

A escolha da técnica de reforço é decisiva para a redução do impacto social e para a alteração na rotina dos usuários e dos habitantes locais.

1.4.2. Ambiental

Ao se optar pela continuidade de uso da estrutura, considerando uma solução apropriada tecnicamente de reforço estrutural, contribui-se para a diminuição de entulho gerado e do desperdício de materiais, reduzindo o impacto ambiental.

1.4.3. Tecnológica

O estudo comparativo pretende enfatizar os procedimentos de cálculo e aplicação dos diferentes métodos para aumentar a capacidade portante de lajes maciças em concreto armado, contribuindo para o aumento do conhecimento.

1.4.4. Econômica

A comparação do custo entre as técnicas de reforços aplicadas em uma laje de concreto armado irá indicar qual delas conduz a uma intervenção mais econômica para cada configuração do elemento estrutural.

1.5. LIMITAÇÕES DE PESQUISA

Neste trabalho não foram considerados os estados limites de serviço e verificação da aderência das chapas de aço e fibra de carbono.

Considerou-se ainda que todas as sobrecargas de utilização da laje poderão ser retiradas antes da execução do reforço.

Considerou-se apenas o reforço devido ao momento positivo máximo. A armadura negativa foi desprezada.

Não foram considerados custos indiretos devido à interrupção de funcionamento da edificação durante o trabalho de reforço. Apenas os custos diretos com mão de obra e insumos foram contabilizados.

1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de cumprir os objetivos deste trabalho, serão adotadas lajes maciças em concreto armado apoiadas, quadradas, com armadura positiva calculada conforme NBR 6118:2014, com espessuras e vãos livres variados.

Em seguida, aplicam-se reforços estruturais com adição de armadura, chapa de aço e polímero reforçado com fibra de carbono. Calcula-se o acréscimo de resistência à flexão do elemento reforçado.

Faz-se o levantamento do quantitativo dos materiais utilizados e o custo direto total para cada tipo de reforço.

Compara-se a relação entre o acréscimo de resistência e o custo direto total para cada reforço, considerando as diferentes configurações da laje.

1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em seis capítulos, cujos assuntos abordados serão apresentados a seguir.

O Capítulo 1 apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica e disserta sobre as técnicas de reforços utilizando adição de armadura, chapa colada de aço e polímero reforçado com fibra de carbono, bem como seus métodos de cálculo.

O Capítulo 3 expõe as características do elemento estrutural a ser reforçado e as propriedades dos materiais a serem empregados.

O Capítulo 4 apresenta as considerações utilizadas para a composição de custo de cada tipo de reforço.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos nos casos analisados.

Finalmente, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo abordam-se informações gerais sobre os sistemas de reforços com adição de armaduras, adição de chapa metálica e adição de polímero reforçado com fibra de carbono para o reforço de elementos estruturais de concreto armado, sujeitos à flexão.

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A recuperação e o reforço estrutural no Brasil estão inseridos na própria história da construção civil. No século 18, os engenheiros militares já davam soluções técnicas aos problemas de fortificações, pontes e estradas na colônia de Portugal (Aidar & Citrynowicz, 1993, apud Campos et al., 2012). No período pós-guerra, na década de 1950, começou a ser introduzido no Brasil o uso dos aços CAT 50 e CAT 60 e também o uso de concreto protendido. Na década de 1960, foi difundido no país o uso de concreto projetado, uma técnica de vanguarda para recuperação estrutural, que era utilizada praticamente em todas as situações (Campos et al., 2012). Souza e Ripper (1998) afirmam que, no fim desta década, o Brasil passou a ser um dos maiores aplicadores de concreto projetado como material de recuperação no mundo.

Segundo Beber (2003), o conhecimento mais aprofundado das propriedades dos materiais aliado à utilização de ferramentas computacionais, tornou possível o dimensionamento de estruturas mais esbeltas, explorando de modo mais preciso os materiais. Esta menor margem de segurança torna os elementos estruturais mais suscetíveis a inconvenientes como defeitos nos materiais e erros de cálculo ou execução. E ainda, com o passar dos anos, as estruturas de concreto podem passar a ser solicitadas com cargas maiores que as consideradas em projeto, ou até mesmo, deixar de respeitar novas exigências normativas (Juvandes, 1999, apud Galle, 2011). Nestas ocorrências, pode-se recorrer à utilização de reforços estruturais para reverter o quadro desfavorável de funcionamento da estrutura.

2.2. REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURAS E ACRÉSCIMO DE SEÇÃO

São relativamente frequentes as situações em que, em meio a serviços de reforços de estruturas de concreto, há necessidade no aumento de barras existentes. Este tipo de reforço consiste no acréscimo de armaduras ao elemento estrutural, recobrando-as com concreto e promovendo um aumento na seção do elemento (Souza e Ripper, 1998). Segundo Reis (1998), a nova camada de concreto armado tem o objetivo de resistir às tensões adicionais a serem empregadas. Beber (2003) afirma que pilares, vigas, lajes, tabuleiros de pontes e vigas paredes podem ter suas seções resistentes aumentadas para elevar sua capacidade de carga, rigidez, ductibilidade, etc.

As vantagens dessa técnica são caracterizadas pela eficiência do reforço, por um maior conhecimento e pela simplicidade da técnica e dos materiais empregados em sua execução, assim como seu baixo custo quando comparado com outros métodos de intervenção (Reis, 1998). Segundo Piancastelli (1997), os reforços em concreto armado são de fácil execução e não exigem mão de obra especializada. Apesar disso, não dispensam os cuidados inerentes a qualquer intervenção.

Uma das maiores preocupações nos reforços com concreto relaciona-se à aderência entre o concreto de reforço e o concreto do elemento a ser reforçado. Para o bom desempenho da recuperação ou reforço estrutural, é fundamental que o substrato seja tratado, a fim de retirar todo o material deteriorado e propiciar as melhores condições de aderência entre o substrato e o material de reforço (Piancastelli, 1997).

Piancastelli (1997) acrescenta que a superfície de concreto velho que entrará em contato com o material de reforço deve ser apicoada, para retirada da nata de cimento superficial, e saturada. Beber (2003) afirma que as espessuras de apicoamento são, em geral, de até 10mm e este trabalho deve ser seguido de uma limpeza com jatos de ar comprimido e/ou água.

Segundo Piancastelli (1997), são mais comuns os reforços à flexão e à punção nas lajes.

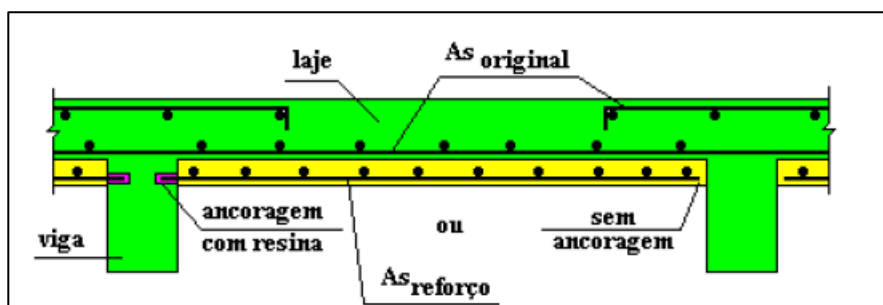


Figura 1. Reforço de lajes à flexão com adição de concreto armado. (Fonte: Piancastelli, 1997).

O cálculo do reforço deve ser feito com base nos critérios da NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

2.2.1. Comportamento de elementos reforçados à flexão

Segundo Beber (2003), é necessário entender primeiramente a influência da atuação de cargas durante a incorporação do reforço. É comum que a estrutura submetida a intervenções estruturais encontre-se deformada.

Para o caso de reforço com aumento de seção, deve-se considerar a deformação inicial na altura útil do reforço. O cálculo desta grandeza é feito pela Equação (1) e Equação (2).

$$\varepsilon_{si} = \frac{M_i(d - x)}{I * E_s} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ri} = \frac{(d_r - x)\varepsilon_{si}}{(d - x)} \quad (2)$$

Onde:

ε_{si} : Deformação inicial da armadura existente;

d : Altura útil da seção;

E_s : Módulo de elasticidade da armadura existente;

ε_{ri} : Deformação inicial na altura útil do reforço;

d_r : Altura útil da seção reforçada;

M_i : Momento fletor atuante no instante da aplicação do reforço;

x : Altura da linha neutra;

I : Momento de inércia da seção homogeneizada de concreto;

E_{cs} : Módulo de elasticidade secante do concreto.

Segundo Beber (2003), para os tipos de reforços em que se incorpora o material de reforço no substrato do concreto, como nos casos de fibra de carbono e chapa de aço, deve-se considerar a deformação específica do substrato do concreto através da Equação (3).

$$\varepsilon_{ri} = \frac{M_i(h - x)}{I * E_{cs}} \quad (3)$$

Onde:

h : Altura da seção;

E_{cs} : Módulo de elasticidade secante do concreto.

As deformações iniciais devem ser consideradas no cálculo da mobilização dos esforços dos materiais, conforme Equação (4).

$$\varepsilon_r = \varepsilon_n - \varepsilon_{ri} \leq \varepsilon_{r,u} \quad (4)$$

Onde:

ε_r : Deformação específica no reforço;

ε_n : Deformação específica no reforço para um momento fletor qualquer;

ε_i : Deformação específica no instante da aplicação do reforço;

$\varepsilon_{r,u}$: Deformação específica do reforço na ruptura.

Considerando-se que a laje trabalha no estágio II, no qual o concreto não resiste aos esforços de tração, o cálculo da altura da linha neutra e do momento de inércia da seção homogeneizada de concreto pode ser calculado pela Equação (5) e Equação (6) (Beber, 2003).

$$\frac{b_w x^2}{2} + (\alpha_e - 1) A'_s (x - d') - \alpha_e A_s (d - x) = 0 \quad (5)$$

$$I_{II} = \frac{b_w x^3}{3} + (\alpha_e - 1) A'_s (x - d')^2 + \alpha_e A_s (d - x)^2 \quad (6)$$

Onde:

α_e : Relação do módulo de elasticidade do aço e do concreto;

A_s' : Área da seção transversal da armadura longitudinal comprimida;

A_s : Área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada;

b_w : Largura da seção transversal (100cm para lajes);

d : Distância entre a fibra mais comprimida e o centroide da armadura tracionada;

d' : Distância entre a fibra mais comprimida e o centroide da armadura comprimida;

I_{II} : Momento de inércia da seção homogeneizada de concreto no estágio II.

O método de dimensionamento proposto por Beber (2003) analisa a seção transversal da peça, considerando a sua atuação em seu estado limite último. As deformações e as tensões de uma seção reforçada podem ser visualizadas na Figura 2.

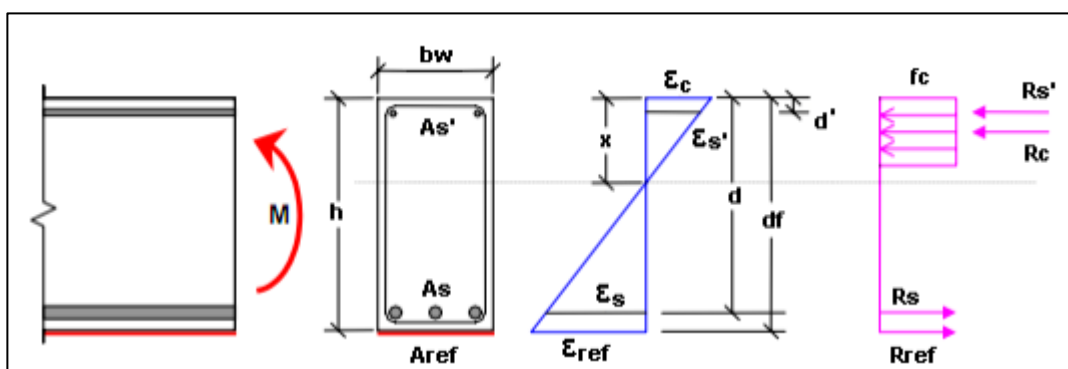


Figura 2. Diagrama de equilíbrio de uma seção transversal reforçada (Fonte: Beber, 2003).

O dimensionamento é feito com as seguintes considerações (Beber, 2003):

- As seções permanecerão planas até a ruptura;
- O encurtamento de ruptura do concreto é de 0,35%;
- O alongamento máximo da armadura de tração é de 1%;
- A resistência à tração do concreto é desprezada;
- Existe aderência perfeita entre o aço e o concreto;
- Existe aderência perfeita entre o reforço e a superfície de concreto.

Através da equação de equilíbrio da seção transversal reforçada podemos encontrar a altura da linha neutra, conforme indicado na Equação (7).

$$x = (\sigma_s A_s + \sigma_r A_r - \sigma'_s A'_s) / 0,68 b_w \sigma_c \quad (7)$$

Onde:

σ_s : Tensão admissível na armadura tracionada;

σ'_s : Tensão admissível na armadura comprimida;

σ_c : Tensão admissível no concreto;

σ_r : Tensão admissível na armadura de reforço;

A_s : Área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada;

A'_s : Área da seção transversal da armadura longitudinal comprimida;

A_r : Área da seção transversal da armadura longitudinal de reforço.

A partir da altura da linha neutra conhece-se o domínio de atuação da seção transversal. Para o caso em que a seção transversal encontra-se no domínio 2, tem-se que o valor de deformação específica da armadura de reforço é 1%. Já para os domínios 3 e 4, o valor da deformação específica no concreto vale 0,35%. A partir daí, pode-se calcular as deformações específicas nos materiais, pela Equação (8) e Equação (9).

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d - x}{x} \right) \varepsilon_c \quad (8)$$

$$\varepsilon_r = \left(\frac{d_r - x}{x} \right) \varepsilon_c \quad (9)$$

A partir da Equação (4), encontra-se a deformação específica no reforço ε_f .

A partir das deformações específicas, calculam-se as tensões atuantes em cada elemento. Esse conjunto de tensões resultará em uma nova posição da linha neutra, dando início ao método iterativo de cálculo. A diferença entre a posição da linha neutra utilizada no cálculo e aquela encontrada a partir das tensões nos elementos deve ser menor que 0,001.

Encerrado o processo de iteração, calcula-se o momento último, M_u , da seção transversal reforçada, conforme mostrado na Equação (10).

$$M_u = \sigma_s A_s + \sigma_r A_r d_r - 0,34 b_w \sigma_c x^2 - \sigma'_s A'_s d' \quad (10)$$

2.3. REFORÇO COM ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA

Desde meados dos anos 1960, o reforço com chapas de aço coladas em vigas de concreto armado tem sido utilizado na África do Sul, no Japão e em vários países da Europa (Beber, 2003).

O reforço por colagem de chapas metálicas é uma opção muito eficiente e de rápida execução quando se trata de adicionar capacidade resistente ao elemento estrutural, principalmente para situações que requerem emergência ou não permitem grandes alterações na geometria das peças (Souza e Ripper, 1998). Segundo Beber (2003), esta é considerada uma das melhores técnicas de reforço ou reparo de elementos de concreto deteriorado. O autor afirma ainda que este método é muito utilizado para reforçar ou reparar elemento de concreto com capacidade resistente insuficiente, devido a danos estruturais, mudanças de utilização e corrosão de armaduras. A Figura 3 mostra o reforço de uma viga por adição de chapas de aço coladas.

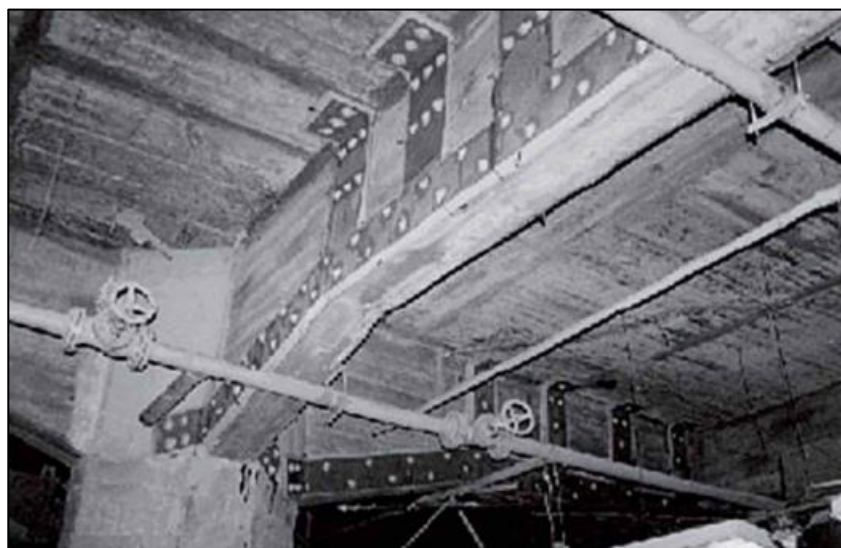


Figura 3. Reforço por adição de chapa colada. (Fonte: Souza e Ripper, 1998).

A recuperação da capacidade resistente de elementos em concreto armado por meio da colagem de chapas de aço tem sua eficiência comprovada pela realização de uma vasta quantidade de intervenções deste tipo (Cánovas, 1998, apud Galle, 2011).

O princípio dessa técnica é bastante simples: chapas de aço são coladas na superfície de elementos de concreto através de adesivo epóxi (Saadatmanesh e Ehsani, 1990, apud Beber, 2003). Segundo Reis (1998), através da colagem de chapas de aço para execução de reforços, a armadura suplementar é aderida ao elemento estrutural reforçado, possibilitando o funcionamento conjunto dos materiais.



Figura 4. Reforço com colagem de chapas metálicas (Fonte: Souza e Ripper, 1998).

Souza e Ripper (1998) afirmam que se trata de uma técnica simples, em termos de concepção, mas também exigente quanto ao rigor executivo e à necessidade de cuidadoso procedimento prévio de cálculo.

Segundo Beber (2003), as chapas de aço atuam como um suplemento à armadura existente no interior de concreto, e são consideradas como uma armadura secundária, aplicada para reduzir as tensões na armadura existente em níveis aceitáveis.

A rugosidade da superfície de concreto é importante por aumentar a aderência entre o elemento estrutural e a chapa metálica. A obtenção de uma superfície uniformemente rugosa pode ser obtida pela contínua e cuidadosa percussão provocada por martelo de agulhas (Souza e Ripper, 1998). Segundo os autores, a superfície deve ser limpa e seca para posterior aplicação da resina epoxídica.

Souza e Ripper (1998) afirmam que a colagem de chapas metálicas ao concreto requer a utilização de resinas com altas capacidades de aderência e resistência mecânica.

A superfície da chapa metálica que ficará em contato com a resina também deve passar por um tratamento cuidadoso, a fim de potencializar ao máximo sua capacidade aderente (Souza e Ripper, 1998). A superfície deve ser desengordurada com tricloruretano e o aço deve ser submetido à decapagem a jato abrasivo. Em seguida, as superfícies a colar serão protegidas com filme autocolante apropriado, de forma a prevenir qualquer inconveniente durante o transporte, manuseamento e armazenagem. Esta película só deverá ser retirada imediatamente antes da aplicação. (Souza e Ripper, 1998).

Segundo Souza e Ripper (1998), as superfícies metálicas que não ficarem em contato com a resina devem receber tratamento de pintura anticorrosiva.

Após a aplicação, as chapas devem ser submetidas a uma ligeira pressão uniforme, para que o excesso de resina existente seja expulso, por um período não inferior a 24 horas (Souza e Ripper, 1998).

Segundo Beber (2003), o principal inconveniente do método é a possível corrosão nas chapas de aço, em especial na interface adesivo/chapa. Imediatamente após sua instalação, o reforço deve ser protegido, criando tarefas adicionais de manutenção (Emmons et al., 1998, apud Beber, 2003).

Segundo Beber (2003), os primeiros estudos para o cálculo do reforço estrutural utilizando chapas coladas de aço a estruturas de concreto se devem a L'Hermite e J. Bresson (1971). A estes estudos seguiram-se os de Swamy, Jones e Mays (1987), Cánovas (1988), D. Van Gemert et al. (1991), Hussein e Ziraba (1994, 1995), Theillout (1992), Campagnolo et al. (1995) e Silveira e Souza (1997).

Beber (2003) afirma que a regulamentação mais utilizada para os procedimentos de colagem de chapas é a do C.E.B. que, dentre outras restrições, especifica que:

- a) A espessura da camada de cola não exceda 1,5mm;
- b) A espessura da chapa não exceda 3mm (a não ser que sejam utilizados dispositivos especiais de ancoragem);
- c) O incremento a obter nos esforços resistentes, comparando a situação depois do reforço com a original, não seja superior a 50%, tanto para flexão como para o cisalhamento.

Para o cálculo do reforço com chapas de aço, podem-se utilizar os mesmos conceitos descritos no item 2.2.1.

O método de cálculo de Cánovas para cálculo do reforço estrutural utilizando chapas coladas de aço considera dois momentos atuantes, M_p (momento devido ao peso próprio e cargas permanentes) e M_s (momento devido às sobrecargas), fazendo a superposição das deformações a eles correspondentes. Cánovas ainda considera que o elemento estrutural está em um estado-limite último após a atuação do momento M_s , ou seja, o dimensionamento é feito no Estádio III (Beber, 2003). Os estados de tensão e deformação são mostrados na Figura 5. O autor descreve o método de cálculo de Cánovas conforme citado a seguir.

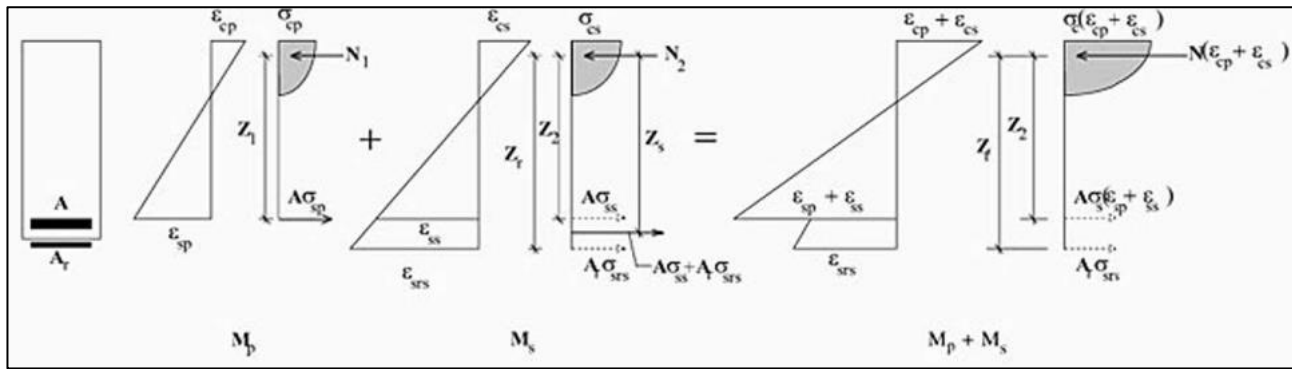


Figura 5. Estado de tensão e deformação de uma viga reforçada segundo Cánovas (Fonte: Silveira, 1997, apud Beber, 2003).

2.3.1. Método de Cánovas

As verificações necessárias na aplicação do método de Cánovas são:

$$\sigma_{(\varepsilon_{cp} + \varepsilon_{cs})} \leq \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (11)$$

$$\sigma_{(\varepsilon_{sp} + \varepsilon_{ss})} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (12)$$

$$\sigma_{srs} \leq \frac{f_{yrk}}{\gamma_s} \quad (13)$$

Onde:

$\sigma_{(\varepsilon_{cp} + \varepsilon_{cs})}$: Tensão no concreto referente à soma das deformações impostas pelos momentos M_S e M_P ;

$\sigma_{(\varepsilon_{sp} + \varepsilon_{ss})}$: Tensão na armadura de tração referente à soma das deformações impostas pelos momentos M_S e M_P ;

σ_{srs} : Tensão na chapa de reforço devido ao momento M_S ;

f_{ck} : Resistência à compressão do concreto;

f_{yk} : Tensão característica de escoamento da armadura de tração;

f_{yrk} : Tensão característica de escoamento da chapa de reforço.

A tensão na armadura existente após a execução do reforço é:

$$\sigma_{sp} = \frac{M_p}{Z_1 \times A} \quad (14)$$

Onde:

σ_{sp} : Tensão na armadura existente após a execução do reforço;

Z_1 : Braço de alavanca da armadura interna;

A : Área de armadura existente.

Como o momento total $M_p + M_s$ leva a um estado-limite último, e considerando que o elemento estrutural continuará subarmado após o reforço, a tensão na armadura não poderá ultrapassar:

$$\sigma_{srs} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} - \sigma_{sp} \leq \frac{f_{yrk}}{\gamma_s} \quad (15)$$

O equilíbrio de momentos, para o diagrama devido ao momento M_s , leva à equação de equilíbrio:

$$M_s = (A * \sigma_{ss} + A_R * \sigma_{srs}) * Z_s \cong (A + A_R) * \sigma_{srs} * Z_s \quad (16)$$

Com isso, a área de armadura de reforço pode ser calculada por:

$$A_R = \frac{M_s}{Z_s * \sigma_{srs}} - A \quad (17)$$

Onde:

A_R : Área da armadura de reforço;

Z_s : Braço de alavanca entre a força de compressão e a força de tração durante aplicação do momento M_s .

Os braços de alavanca Z_1 e Z_s podem ser calculados a partir da teoria clássica do concreto armado para o Estádio III.

2.4. REFORÇO COM ADIÇÃO DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO (PRFC)

As aplicações de materiais compósitos no reforço de estruturas de concreto armado e protendido são vistas como um avanço notável e um bom exemplo de conciliação entre os campos da ciência dos materiais e da construção civil (Beber, 2003).

Os compósitos reforçados com fibras começaram a ser utilizados em meados do século 20 substituindo o aço (Souza e Ripper, 1998). O primeiro caso de utilização de PRFC no Brasil foi em um reforço estrutural do viaduto de Santa Tereza, em 1998, em Belo Horizonte, Minas Gerais (Machado, 2002, apud Beber, 2003).

Beber (2003) afirma que os polímeros reforçados com fibras são capazes de suportar tensões mais elevadas do que cada componente individualmente, uma vez que a matriz e as fibras interagem na redistribuição das tensões oriundas das solicitações externas.

Machado (2006) cita as principais aplicações do reforço com adição de PRFC: reforço à flexão em vigas, lajes e postes de concreto armado; reforço ao esforço cortante de vigas de concreto armado; reforço à compressão de pilares de concreto armado e reforço à flexão e ao esforço cortante de alvenarias. A Figura 6 mostra o reforço de uma laje com aplicação de PRFC.



Figura 6. Reforço de laje à flexão com adição de PRFC. (Fonte: Manual de Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono, Ari de Paula Machado).

Os sistemas compostos estruturados com fibras de carbono, CFC, são construídos com a matriz polimérica e o elemento estrutural, constituído pela fibra de carbono. A matriz polimérica tem a função de manter as fibras coesas, propiciando a transferência das tensões de cisalhamento entre o concreto e a fibra de carbono (Machado, 2006).

A Figura 7 mostra a sequência recomendada para execução do CFC.

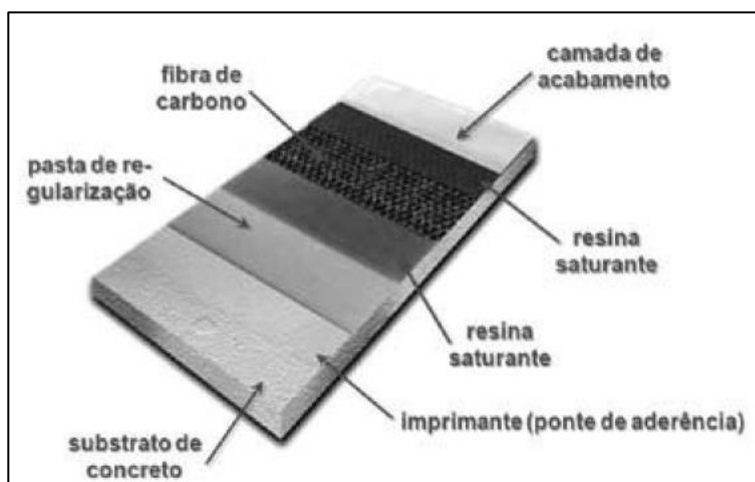


Figura 7. Etapas construtivas dos sistemas compostos com fibras de carbono, CFC. (Fonte: Manual de Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono, Ari de Paula Machado),

Os imprimadores primários têm a função de penetrar no substrato de concreto e permitir a construção de uma ponte de aderência para a resina de saturação ou outros adesivos. Os regularizadores de superfície são utilizados para o preenchimento de vazios ou para a correção de imperfeições superficiais. As resinas de saturação funcionam para impregnação das fibras que constituem o reforço estrutural dos compostos (Machado, 2006).

As fibras de carbono resultam do tratamento térmico (carbonização) de fibras precursoras orgânicas (Machado, 2006). O autor apresenta ainda as seguintes características básicas da fibra de carbono:

- a) Extraordinária resistência mecânica;
- b) Elevada resistência a ataques químicos diversos;
- c) Não afetadas pela corrosão;
- d) Extraordinária rijeza;
- e) Estabilidade térmica e reológica;
- f) Bom comportamento à fadiga;
- g) Extrema leveza, com peso específico na ordem de 1,6 g/cm³ a 1,9 g/cm³.

Os revestimentos protetores são utilizados para proteger a superfície colada dos sistemas compostos de efeitos do meio ambiente. Estes são aplicados na face exterior do sistema curado dos compostos (Machado, 2006). Segundo a ACI 440.2R-08 (ACI, 2008) as principais razões para utilização dos revestimentos protetores são: ataque de radiação ultravioleta, incêndio, vandalismo, impacto, abrasão, agressão química, estética e preservação da portabilidade da água, quando for o caso.

Segundo Machado (2006), os sistemas compostos estruturados com fibras de carbono trabalham melhor em estruturas com concreto íntegro e não devem ser aplicados em superfícies que apresentam armaduras corroídas ou substratos deteriorados.

Souza e Ripper (1998) afirmam que a área de aplicação do reforço deve ser cuidadosamente trabalhada, tendo a pequena camada de nata de cimento e qualquer outra sujeira removidas.

Todos os sistemas compostos estruturados com fibras de carbono devem atender a uma série de recomendações das normas técnicas para poderem ser utilizados no reforço de estruturas de concreto armado (Machado, 2006).

A ACI 440.2R-08 (ACI, 2008) fornece um guia para seleção, projeto e instalação de sistemas externos de polímeros reforçados com fibras para reforços de elementos estruturais (Roncetti, 2011).

2.4.1. Método do ACI 440.2R-08

As principais premissas adotadas pelo ACI 440.2R-08 para cálculo da resistência à flexão de uma seção reforçada com polímeros reforçados com fibras são:

- a) O dimensionamento é baseado nas dimensões, armadura interna e propriedades dos materiais do elemento a ser reforçado;
- b) As deformações específicas da armadura e do concreto são diretamente proporcionais à distância da linha neutra;
- c) Não há deslizamento relativo entre o polímero e o concreto;
- d) A deformação por cisalhamento da camada adesiva é desprezada;
- e) A deformação específica máxima para o concreto é de 0,3%;
- f) A resistência à tração do concreto é desprezada;
- g) O reforço com polímero reforçado com fibra (PRF) tem comportamento elástico linear quanto à tensão e deformação até a ruptura.

O elemento estrutural a partir do instante em que não pode contar com a atuação do reforço com PRF deve ter uma capacidade resistente residual capaz de resistir a um determinado nível mínimo de carregamento. A Equação (18) deve ser respeitada.

$$(\phi R_n)_{\text{existente}} \geq (1,1 S_{DL} + 0,75 S_{LL})_{\text{nova}} \quad (18)$$

Onde:

ϕ : Fator de redução da resistência;

R_n : Resistência de cálculo da estrutura existente, sem reforço;

S_{DL} : Solicitação nominal para carga permanente atuante na estrutura reforçada;

S_{LL} : Solicitação nominal para carga variável atuante na estrutura reforçada.

O fator de redução da resistência à flexão é determinado em função do valor da deformação do aço, ou seja, da ductibilidade da seção, conforme a Equação (19).

$$\phi = \begin{cases} 0,90 \text{ para } \varepsilon_t \geq 0,005 \\ 0,65 + \frac{0,25(\varepsilon_t - \varepsilon_{sy})}{0,005 - \varepsilon_{sy}} \text{ para } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_t < 0,005 \\ 0,65 \text{ para } \varepsilon_t < \varepsilon_{sy} \end{cases} \quad (19)$$

Onde:

ε_t : Deformação específica da armadura passiva tracionada correspondente à tensão nominal máxima;

ε_{sy} : Deformação específica da armadura passiva tracionada correspondente à tensão de escoamento;

É aplicado um fator de redução na resistência dos materiais, devido aos efeitos ambientais C_E . Este fator varia de acordo com o tipo de fibra e a condição de exposição (Tabela 1).

Tabela 1. Fator de redução ambiental (ACI, 2008, apud Roncetti, 2011).

Condição de exposição	Tipo de fibra	Fator de redução ambiental C_E
Exposição interna	Carbono	0,95
	Vidro	0,75
	Aramida	0,85
Exposição externa (pontes, piers e parques de estacionamento não fechado)	Carbono	0,85
	Vidro	0,65
	Aramida	0,75
Ambiente agressivo (fábricas de produtos químicos e estações de tratamento de águas residuais)	Carbono	0,85
	Vidro	0,50
	Aramida	0,70

A tensão última na tração de cálculo do PRF e a deformação específica última devem ser reduzidas pelo fator C_E , de acordo com a Equação (20) e Equação (21).

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad (20)$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^* \quad (21)$$

Onde:

f_{fu} : Tensão última de tração de cálculo do PRF;

f_{fu}^* : Tensão última de tração de cálculo do PRF informada pelo fabricante;

ε_{fu} : Deformação específica última de cálculo do PRF;

ε_{fu}^* : Deformação específica última do PRF;

Não é necessário aplicar o fator ambiental no cálculo do módulo de elasticidade na tração do PRFC, E_f , conforme a Equação (22).

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{fu}} \quad (22)$$

O momento fletor resistente de cálculo deve ser maior que o momento fletor solicitante, conforme Equação (23).

$$\phi M_n \geq M_u \quad (23)$$

Onde:

ϕM_n : Momento fletor resistente de cálculo;

M_u : Momento fletor solicitante de cálculo.

A deformação específica do reforço de PRF deve ser limitada pela Equação (24) para evitar falha por deslocamento do polímero.

$$\varepsilon_{fd} = 0,41 \sqrt{\frac{f'_c}{n E_f t_f}} \leq 0,9 \varepsilon_{fu} \quad (24)$$

Onde:

ε_{fd} : Deformação específica no PRF na ruptura por deslocamento;

f'_c : Resistência nominal à compressão do concreto;

n : Número de camadas aplicadas de PRF;

t_f : Espessura nominal de uma camada de PRF, em mm.

A deformação específica atuante no reforço de PRFC é determinada pela Equação (25).

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd} \quad (25)$$

Onde:

ε_{fe} : Deformação específica efetiva no PRF na ruptura por deslocamento;

ε_{cu} : Deformação axial última do concreto;

c : Profundidade da linha neutra;

d_f : Distância da fibra mais comprimida e o centroide do reforço de PRF;

ε_{bi} : Deformação inicial do substrato devido à carga permanente;

A Figura 8 e a Figura 9 mostram as deformações internas e a distribuição de tensões para uma seção retangular reforçada com PRF.

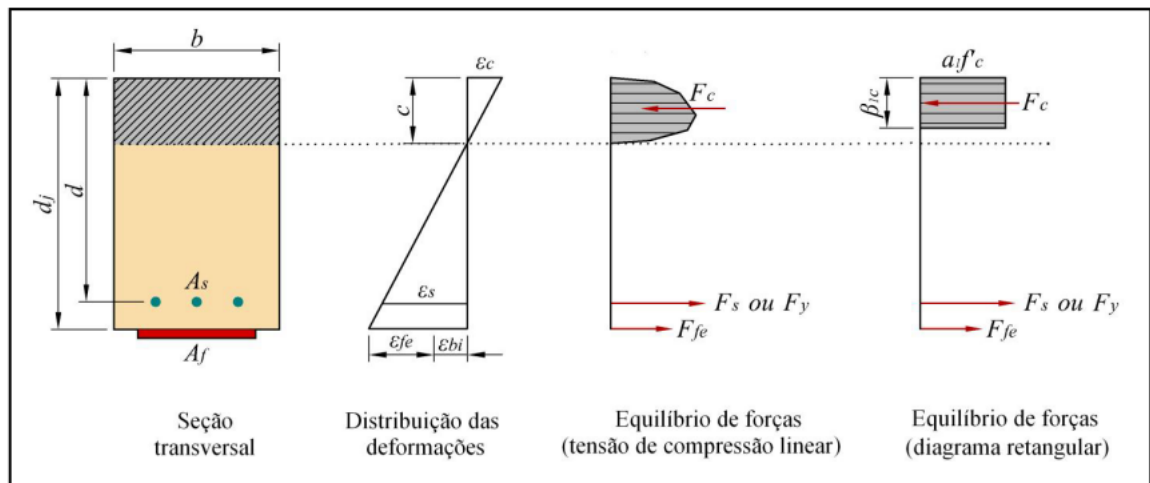


Figura 8. Distribuição de tensões e deformações para uma seção de concreto armado reforçada com PRF sob flexão no estado limite último (ACI, 2008, apud Roncetti, 2011).

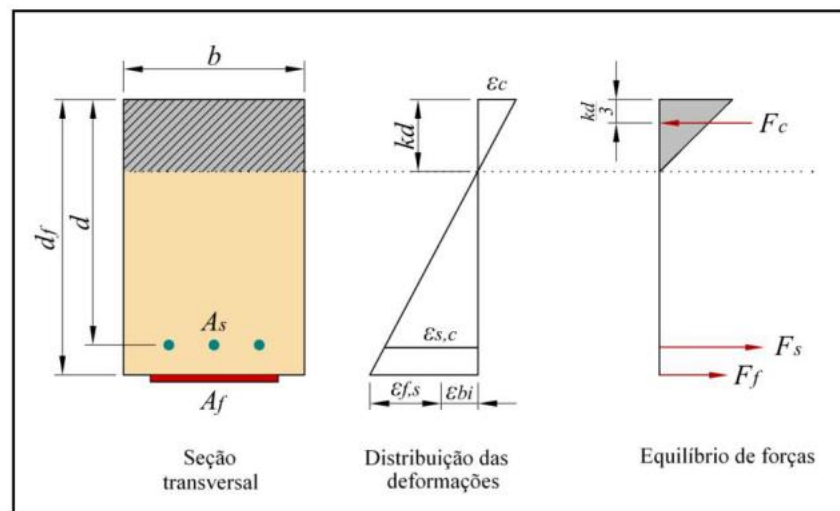


Figura 9. Distribuição de tensões e deformações para uma seção de concreto armado reforçada com PRF sob flexão no estado limite de serviço (ACI, 2008, apud Roncetti, 2011).

A tensão efetiva de tração no reforço é dada pela Equação (26).

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe} \quad (26)$$

Onde:

f_{fe} : Tensão efetiva de tração no reforço de PRF na ruptura.

O ACI-440.2R-08 limita a tensão no aço e no concreto pela Equação (27) e Equação (28).

$$f_{s,s} \leq 0,80 f_y \quad (27)$$

$$f_{c,s} \leq 0,45 f'_c \quad (28)$$

Onde:

$f_{s,s}$: Tensão de tração na armadura passiva em serviço;

f_y : Tensão de escoamento da armadura;

$f_{c,s}$: Tensão de compressão no concreto em serviço;

f'_c : Resistência nominal à compressão do concreto.

Para o cálculo do equilíbrio de forças na seção e compatibilidade de deformações, utiliza-se um processo iterativo para a determinação do valor da profundidade da linha neutra.

A deformação específica do aço é dada pela Equação (29).

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{d - c}{d_f - c} \right) \quad (29)$$

Onde:

ε_s : Deformação específica da armadura passiva tracionada;

d : Distância entre a fibra mais comprimida e o centroide da armadura tracionada.

A tensão de tração no aço é determinada pela Equação (30).

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y \quad (30)$$

Onde:

f_s : Tensão de tração na armadura passiva;

f_y : Tensão escoamento do aço.

Uma vez obtidas as deformações e tensões no PRF e na armadura passiva para a respectiva profundidade da linha neutra, o equilíbrio de forças internas na seção é verificado pela Equação (31).

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b} \quad (31)$$

Onde:

A_s : Área da seção transversal da armadura passiva;

A_f : Área da seção transversal do reforço de PRF;

α_1 : Parâmetro de equivalência do diagrama parábola-retângulo (0,85);

β_1 : Parâmetro de equivalência do diagrama parábola-retângulo (0,8);

b : Largura da seção transversal.

O momento fletor resistente calculado com o valor da profundidade da linha neutra que leve ao equilíbrio é determinado pela Equação (32). Um fator de redução adicional ($\psi_f=0,85$) é aplicado à parcela de contribuição da fibra, baseado na calibração estatística e confiabilidade do método.

$$M_n = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi_f A_f f_{fe} \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (32)$$

É necessário verificar as tensões no aço, Equação (33), e no reforço de PRF, Equação (34), verificando se estão dentro dos limites exigidos pela Equação (27) e Tabela 2.

$$f_{s,s} = \frac{\left[M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right) \right] (d - kd) E_s}{A_s E_s \left(d - \frac{kd}{3} \right) (d - kd) + A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right) (d_f - kd)} \quad (33)$$

$$f_{f,s} = f_{s,s} \left(\frac{E_f}{E_s} \right) \frac{d_f - kd}{d - kd} - \varepsilon_{bi} E_f \quad (34)$$

Onde:

M_s : Momento fletor atuante na seção;

k : Razão entre a profundidade da linha neutra e a distância entre a fibra mais comprimida e a armadura tracionada;

$f_{f,s}$: Tensão na fibra de carbono em serviço.

Tabela 2. Tensões limites no reforço de PRD para o estado limite de serviço para a fibra de vidro, fibra de aramida e fibra de carbono (ACI, 2008, apud Roncetti, 2011).

Tipo de tensão	Tipo de fibra		
	GFRP	AFRP	CRP
Sustentação ao longo do limite de tensão cíclica	$0,30 f_{fu}$	$0,30 f_{fu}$	$0,55 f_{fu}$

2.5. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Todos os problemas estruturais apresentam mais de uma solução (Beber, 2003). A escolha da aplicação de cada técnica de reforço dependerá da análise dos fatores que condicionam a decisão.

A Tabela 3 lista as vantagens e desvantagens dos tipos de reforços apresentados.

Tabela 3. Vantagens e desvantagens das técnicas de reforços estruturais.

TÉCNICAS DE REFORÇO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
ADIÇÃO DE ARMADURA	• Eficiência do reforço; • Maior conhecimento e simplicidade da técnica e dos materiais; • Baixo custo; • Não exige mão de obra especializada.	• Maior tempo de intervenção; • Maior impacto para os usuários durante a intervenção; • Alteração da arquitetura quando há acréscimo de seção do elemento estrutural.
ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA	• Eficiência do reforço; • Execução rápida; • Bom conhecimento do material; • Não aumentar consideravelmente a seção do	• Difícil execução em lajes; • Suscetível à corrosão; • Demandam manutenção periódica; • Difícil manuseio de elementos com grandes dimensões devido

TÉCNICAS DE REFORÇO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
	elemento estrutural; • Pouca interferência no uso da estrutura durante a intervenção; • Ausência de vibração e baixo nível de ruídos.	ao peso do aço; • Dificuldade de fabricação de elementos com formas complexas;
ADIÇÃO DE PRFC	• Execução rápida; • Não aumentar consideravelmente a seção do elemento estrutural; • Pouca interferência no uso da estrutura durante a intervenção; • Ausência de vibração e baixo nível de ruídos; • Não afetado pela corrosão; • Extrema leveza; • Fácil manuseio, aplicação e capacidade de assumir formas complexas; • Versatilidade de projeto; • Alta resistência do material;	• Custo relativamente alto; • Necessária mão de obra especializada; • Demandam manutenção periódica; • Suscetível a vandalismo; • Limite de temperatura.

3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

Neste capítulo faz-se a aplicação numérica de cada método de reforço descrito a uma laje de concreto armado especificada a seguir.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES

A seguir são descritas as lajes, as cargas e também os materiais utilizados na aplicação dos tipos de reforço, indicando todas as considerações feitas.

3.1.1. Laje

O objeto de estudo é uma laje de concreto armado com as seguintes características iniciais:

- a) Resistência à compressão característica do concreto: $f_{ck}=25\text{MPa}$;
- b) Aço CA-50;
- c) Cobrimento: 3cm;
- d) Carga permanente devido ao revestimento: 2kN/m^2 ;
- e) Sobrecarga de utilização inicial: 3kN/m^2 ;
- f) Vão em x (l_x) e vão em y (l_y) iguais;
- g) Laje apoiada.

Serão variados os seguintes parâmetros da laje:

- h) Vão livre da laje (l_x e l_y);
- i) Espessura da laje;
- j) Área do material de reforço.

Será adotada a armadura inicial igual à calculada segundo a NBR 6118:2014 para cada situação, considerando uma taxa de armadura mínima de $\rho=0,15\%$.

A armadura da seção comprimida da laje é desconsiderada.

3.1.2. Reforço com adição de armaduras e acréscimo de seção

Considerou-se, neste tipo reforço, uma nova camada de concreto com espessura de 5cm, a fim de garantir o cobrimento mínimo de 3cm da nova armação a ser executada. Esta armadura será de aço CA-50.

Admitiu-se a utilização de concreto auto adensável, o qual será executado através de janelas a serem executadas na laje existente a cada 5m². Este concreto deverá ter resistência característica à compressão mínima compatível com o concreto existente, ou seja, 25 MPa. Neste caso a armadura será posicionada sob a laje com grampos fixados na estrutura existente. Deve-se posicionar as armaduras afastadas da superfície inferior da laje existente em um diâmetro a fim de garantir que toda a barra seja envolvida de concreto

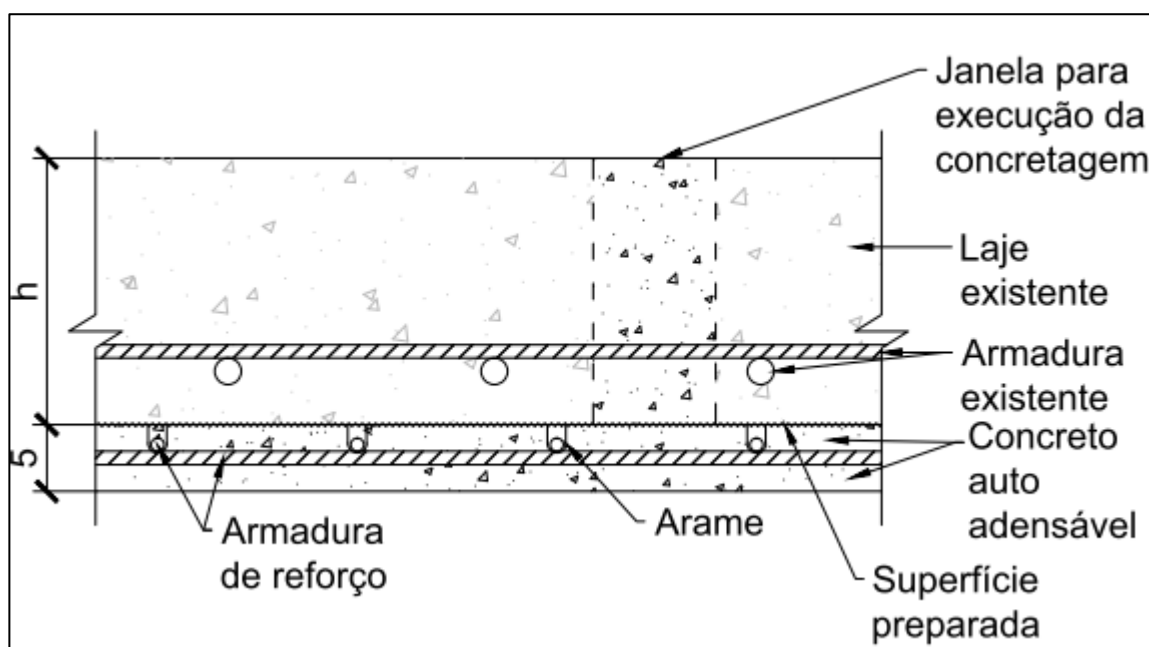


Figura 10. Reforço com adição de armadura e concreto auto adensável

Considerou-se, ainda, a opção de execução com concreto projetado. Neste caso, as armaduras devem ser coladas com adesivo epóxi na superfície inferior da laje e não é necessária a montagem de formas.

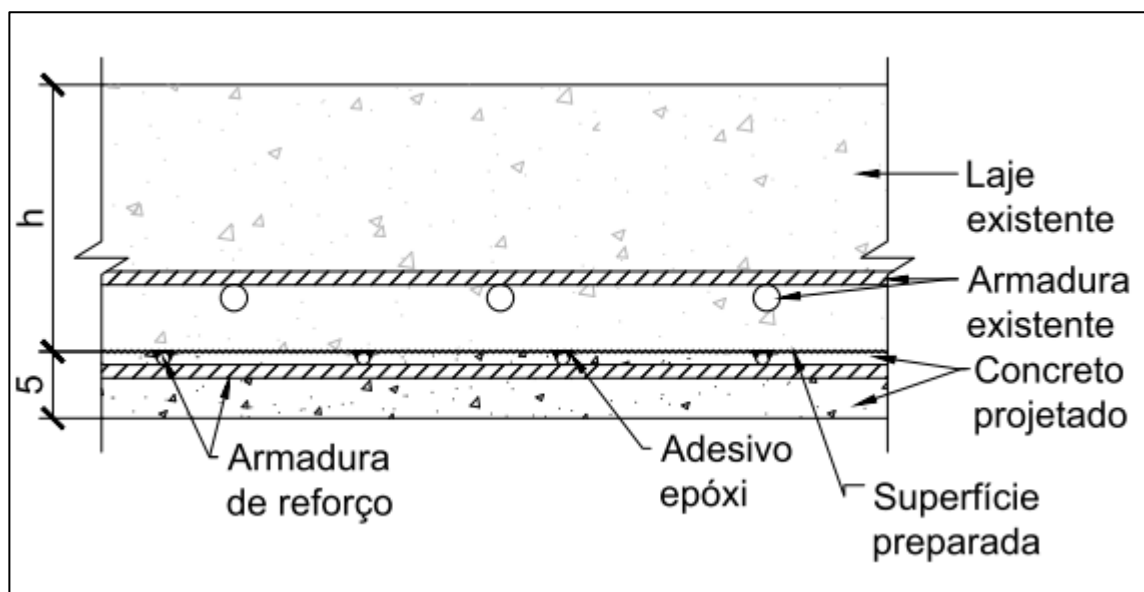


Figura 11. Reforço com adição de armadura e concreto projetado

3.1.3. Reforço com adição de chapa metálica

Considerou-se, neste tipo de reforço, a utilização de uma chapa de aço ASTM A36, com tensão de escoamento (f_y) de 250 MPa, módulo de elasticidade de 200.000 MPa e espessura de 6,35mm.

Admitiu-se que a limpeza e preparação da chapa metálica serão feitas em campo, imediatamente antes da colagem desta.

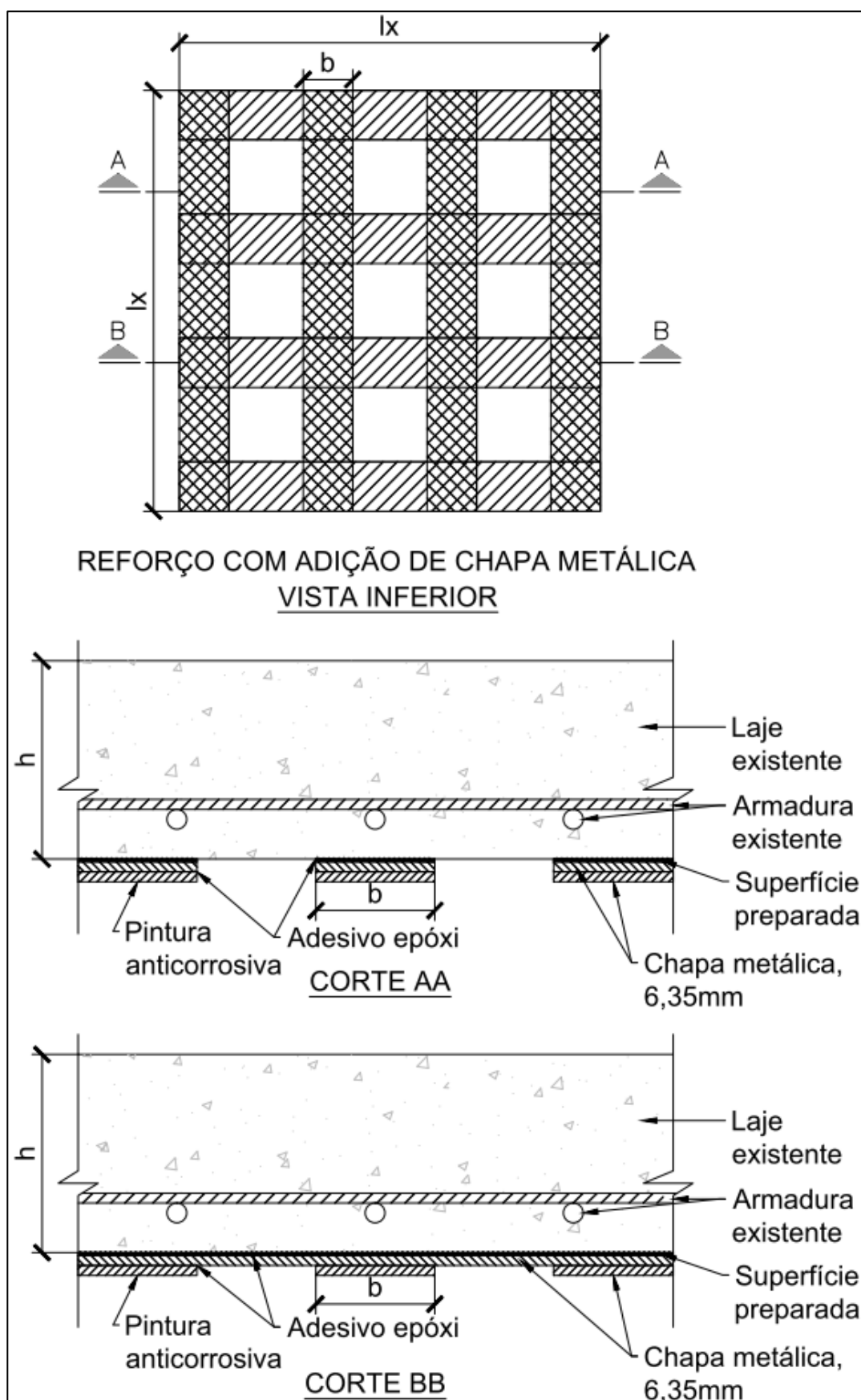


Figura 12. Reforço com adição de chapa metálica

3.1.4. Reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC)

Considerou-se, neste tipo de reforço, a utilização do tecido de fibra de carbono Sika Wrap-300C, com módulo de elasticidade mínimo de 230.000 MPa, espessura de 0,167mm, tensão última mínima, f_{fu}^* , de 4000 MPa e deformação última, ε_{fu}^* , de 1,7%.

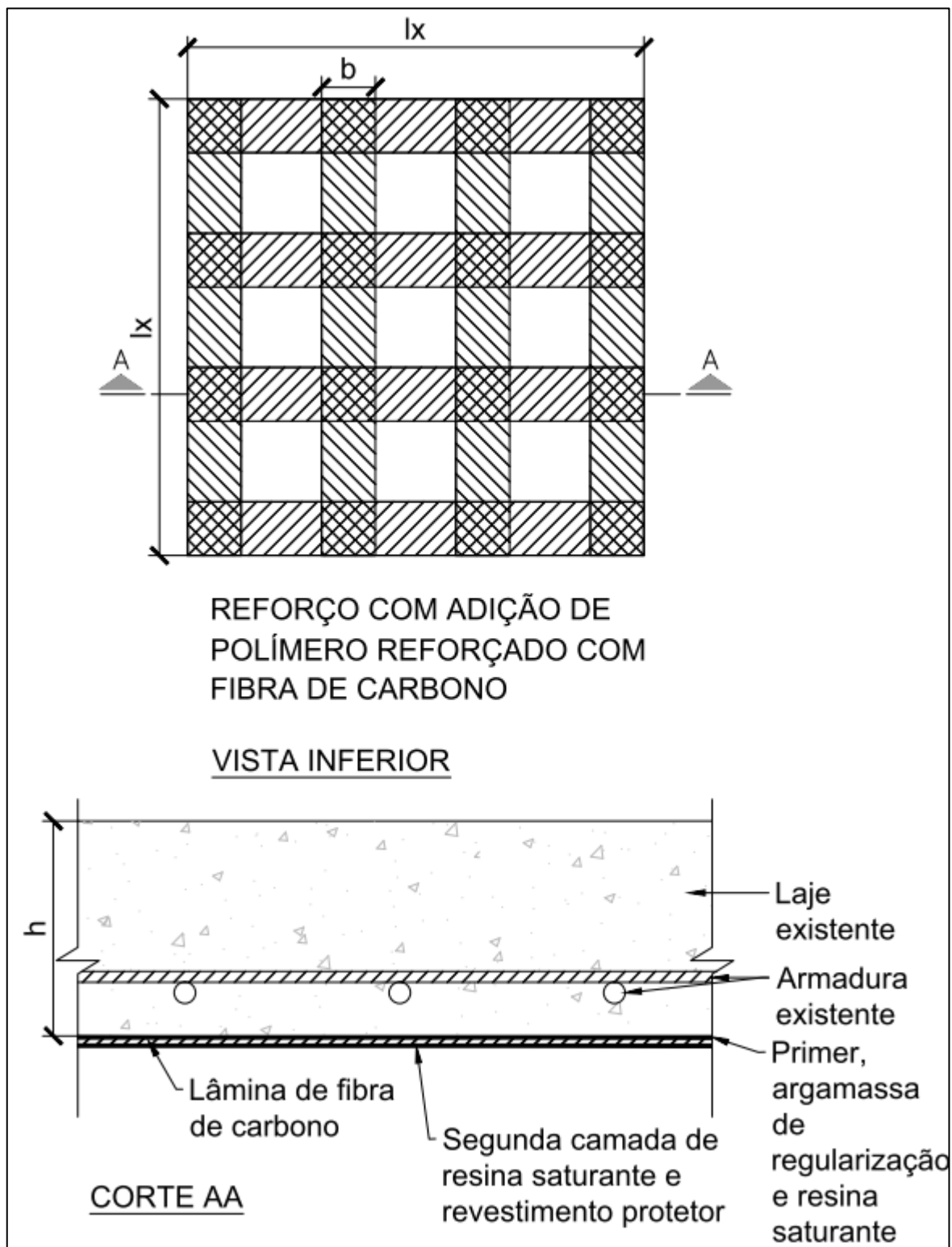


Figura 13. Reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono - PRFC

3.2. APLICAÇÃO NUMÉRICA

Para cada configuração da laje de concreto armado, acrescentam-se os reforços com armaduras de aço, chapas coladas de aço e fibras de carbono. A relação entre o momento último resistente do elemento reforçado e o momento último resistente da seção antes do reforço é calculada.

Para os reforços com adição de armadura e colagem de chapa de aço, o momento último resistente do elemento reforçado é calculado de acordo com o item 2.2.1. Para o reforço com fibra de carbono, os cálculos são feitos de acordo com o método do ACI 440.2R-08 exposto no item 2.4.1.

Para todos os casos, considera-se que toda a sobrecarga de uso poderá ser retirada antes da execução do reforço.

3.3. CÁLCULO DO QUANTITATIVO

Para cada técnica de reforço foi calculado o quantitativo de insumos a serem utilizados na execução do reforço estrutural da laje.

O Apêndice B traz os quantitativos dos materiais para cada configuração de laje analisada e reforço aplicado.

3.3.1. Reforço com adição de armadura e acréscimo de seção

Para o reforço com adição de armadura e acréscimo de seção, calcula-se a área da laje a ser reforçada, o volume de concreto e o peso total de armadura de aço a serem utilizados.

Para cada configuração de laje são definidas áreas de aço, $A_{aço}$ (cm²/m), para o reforço estrutural.

Em seguida, é calculado, pela Equação (35), o espaçamento $e_{aço}$ (cm) entre as armaduras para satisfazer a área de aço adotada, assumindo-se que serão utilizadas barras com diâmetro de 10mm.

$$e_{aço} = \frac{0,785 * 100}{A_{aço}} \quad (35)$$

Em seguida, é calculado o número de barras, $n_{aço}$, que será utilizado no reforço e seus comprimentos, $l_{aço}$ (m), pela Equação (36) e Equação (37), em função do vão da laje, l_x (cm), e do cobrimento da armadura, cob (cm).

$$n_{aço} = \frac{l_x}{e_{aço}} * 2 \quad (36)$$

$$l_{aço} = \frac{l_x - 2 * cob}{100} \quad (37)$$

Para cálculo do consumo total de armaduras de aço, $T_{aço}$ (kg), utiliza-se a Equação (38).

$$T_{aço} = 0,617 * l_{aço} * n_{aço} \quad (38)$$

O consumo de concreto, m^3 , é calculado pela Equação (39), em função da espessura de concreto executada, h_{conc} (cm).

$$Consumo \text{ de concreto} = \frac{l_x^2 * h_{conc}}{10^6} \quad (39)$$

A Figura 14 mostra um exemplo de cálculo da planilha eletrônica desenvolvida para cálculo do acréscimo de resistência e do quantitativo dos materiais utilizados.

LAJE INICIAL - SEM REFORÇO					
fck (MPa)	25 d (cm)	16.0 Mxd = Myd (kNm/m)	37.90	As calculado (cm ² /m)	5.74
os (MPa)	500 q (kN/m ²)	3 Mxd = Myd (kNcm/m)	3,790.08	As,min (cm ² /m)	3.00
c (cm)	3 g,pp (kN/m ²)	5 conta de x	0.195	As,proj (cm ² /m)	5.74
d' (cm)	4.0 g,pav (kN/m ²)	2 x	2.057	As,exec (cm ²)	5.74
Lx=Ly(cm)	800 g+q (kN/m ²)	10 βx	0.129	Ø, exec (mm)	6.3
h (cm)	20 mi,x = mi,y	4.23 Domínio	2	Espaçament, exec	5.4
LAJE COM REFORÇO EM CONCRETO ARMADO					
hconc (cm)	5 os reforço (MPa)	500 Domínio	2	Aaço (cm ² /m)	5.00
hT (cm)	25 E,aço (Mpa)	210000 x_REF (cm)	3.847	As,min (cm ² /m)	1.99
c2 (cm)	3 E,conc (Mpa)	28,000.00 ef (DOMÍNIO 2)	0.01	As,reforço (cm ² /m)	5.000
g,pp (kN/m ²)	6.25 Mxd,pp (kNcm/m)	3,126.82 ec (DOMÍNIO 3)	N/A	As,reforço,exec (cm ² /m)	5.000
mi,x = mi,y	4.23 αe	8.82 ef,n	1.000%	Ø, exec (mm)	10.0
d' (cm)	4.00 x,pp (cm)	3.55 ec	0.22%	Espaçamento - eaço (cm)	15.7
h (cm)	20.00 l,2 (cm4)	9347 es	0.709%	naço	104
d (cm)	16.00 εci	0.231% efi	0.231%	Laço (m)	7.94
df (cm)	21.00 εsi	0.020% ef	0.77%	Taço (kg)	509.5
x,novo (cm)	2.06 ef,i	0.028% situação	OK	Volume concreto (m ³)	3.20
Mu,sem reforço (kN.cm)	3,790.08 x23 (cm)	5.44 os,ref (MPa)	500.0	Área reforço (m ²)	64.00
	xlim	13.19 os (MPa)	500.0		
		Mu,ref (kNcm/m)	8,176.47		
		Mu,ref/Md	2.16	SITUAÇÃO GERAL	OK

Figura 14 - Planilha eletrônica desenvolvida para cálculo do acréscimo de resistência e quantitativo de materiais utilizados no reforço com adição de armadura e acréscimo de seção.

3.3.2. Reforço com adição de chapa metálica

No reforço com adição de chapa metálica, calcula-se o quantitativo da área de chapa de aço a ser utilizado.

Neste caso, a distribuição das chapas de aço ao longo da laje é feita de acordo com a Figura 12.

Para cada configuração de laje são definidas áreas de aço, A_{ch} (cm²/m), para o reforço estrutural.

Em seguida calcula-se pela Equação (40) a largura de chapa metálica, b_{ch} (cm), a cada metro linear de laje para satisfazer a área de aço adotada. Assume-se que as chapas terão espessura de 6,35mm.

$$b_{ch} = \frac{A_{ch}}{0,635} \quad (40)$$

O próximo passo é calcular a área total de chapa metálica a ser utilizada no reforço, $A_{ch,t}$ (m²). Considera-se que a segunda camada de aço será superposta à primeira camada, conforme detalhado na Figura 12. A Equação (41) mostra o cálculo de $A_{ch,t}$ (m²).

$$A_{ch,t} = 2 * b_{ch} * lx^2 + [(b_{ch} - b_{ch}^2) * (lx^2 - lx)] \quad (41)$$

Onde:

b_{ch} : Largura de chapa metálica por metro linear de laje (m);

lx : Vão da laje a ser reforçada (m).

O peso total de aço utilizado, $P_{ch,t}$ (kg), é dado pela Equação (42).

$$P_{ch,t} = A_{ch,t} * 0,0635 * 7850 \quad (42)$$

A Figura 15 mostra um exemplo de cálculo da planilha eletrônica desenvolvida para cálculo do acréscimo de resistência e do quantitativo dos materiais utilizados.

LAJE INICIAL - SEM REFORÇO							
fck (MPa)	25	d (cm)	16.0	Mxd = Myd (kNm/m)	37.90	As calculado (cm²/m)	5.74
σs (MPa)	500	q (kN/m²)	3	Mxd = Myd (kNcm/m)	3,790.08	As,min (cm²/m)	3.00
c (cm)	3	g,pp (kN/m²)	5	conta de x	0.195	As,proj (cm²/m)	5.74
d' (cm)	4.0	g,pav (kN/m²)	2	x	2.057	As,exec (cm²)	5.74
Lx=Ly(cm)	800	g+q (kN/m²)	10	βx	0.129	Ø, exec (mm)	6.3
h (cm)	20	mi,x = mi,y	4.23	Domínio	2	Espaçamento, exec	5.4
LAJE COM REFORÇO COM CHAPA METÁLICA							
e (cm)	0.635	σs chapa (MPa)	250	εf (DOMÍNIO 2)	0.01	A,ch (cm²/m)	2.00
hT (cm)	20.635	E,chapa (Mpa)	200000	εc (DOMÍNIO 3)	N/A	b,ch (cm)	3.15
		E,conc (Mpa)	28,000.00	εf,n	1.00%	A,ch,t (m²)	5.74
g,pp (kN/m²)	5	Mxd,pp (kNcm/m)	2,653.06	εc	0.13%	Pch,t (kg)	286.11
mi,x = mi,y	4.23	αe	8.82	εs	0.759%		
d' (cm)	4.00	x,pp (cm)	3.55	εf,i	0.196%		
h (cm)	20.00	I,2 (cm4)	9347	εf	0.80%		
d (cm)	16.00	εi	0.196%	situação	OK		
df (cm)	20.32	x23 (cm)	4.15	σ,ref (MPa)		250.00	
x,novo (cm)	2.06	xlim	10.05	σs (MPa)		500.00	
Mu,sem reforço (kN.cm)	3,790.08	x_REF (cm)	2.415	Mu,ref (kNcm/m)	4,595.69	Situação (1.5)	OK
E,aço(Mpa)	210000	Domínio	2	Mu,ref/Md	1.21	SITUAÇÃO GERAL	OK

Figura 15 - Planilha eletrônica desenvolvida para cálculo do acréscimo de resistência e quantitativo de materiais utilizados no reforço com adição de chapa metálica.

3.3.3. Reforço com adição de polímero reforçado de fibra de carbono

No reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono, calcula-se o quantitativo da fibra a ser utilizada.

Neste caso, a distribuição das fibras de carbono ao longo da laje é feita de acordo com a Figura 13.

Para cada configuração de laje são definidos os números de fibras por metro linear de laje e, conseqüentemente, as áreas de PRFC, A_{fc} (cm²/m), para o reforço estrutural.

Considerando a largura da fibra de carbono de 100mm e que estas serão distribuídas nas duas direções das lajes, calcula-se, pela Equação (43), a área total de PRFC utilizado no reforço, $A_{fc,t}$ (m²).

$$A_{fc,t} = 2 * n * 0,1 * lx^2 \quad (43)$$

Onde:

n : Número de fibras por metro linear de laje;

lx : Vão da laje a ser reforçada (m).

A Figura 18 mostra um exemplo de cálculo da planilha eletrônica desenvolvida para cálculo do acréscimo de resistência e do quantitativo dos materiais utilizados.

LAJE INICIAL - SEM REFORÇO							
fck (MPa)	25	d (cm)	16.0	Mxd = Myd (kNm/m)	37.90	As calculado (cm²/m)	5.74
os (MPa)	500	q (kN/m²)	3	Mxd = Myd (kNcm/m)	3,790.08	As,min (cm²/m)	3.00
c (cm)	3	g,pp (kN/m²)	5	conta de x	0.195	As,proj (cm²/m)	5.74
d' (cm)	4.0	g,pav (kN/m²)	2	x	2.057	As,exec (cm²)	5.74
Lx=Ly(cm)	800	g+q (kN/m²)	10	βx	0.129	Ø, exec (mm)	6.3
h (cm)	20	mi,x = mi,y	4.23	Domínio	2	Espaçament, exec	5.4
REFORÇO FIBRA DE CARBONO - ACI 440.2R-08							
g,pp (kN/m²)	5	Ce	0.95	ε,fe	1.034%	ØMrdf (kN.cm/m)	3,973.25
mi,x = mi,y	4.23	f, fu* (kN/cm²)	400	f, fe (kN/cm²)	243.33	ØMu,ref/Md	1.05
x,novo (cm)	2.06	ε, fu*	1.70%	ε, s	0.977%	base fc (cm)	10.0
Mu,sem reforço (kN.cm)	3,790.08	t, f (mm)	0.167	f, s (kN/cm²)	43.48	A, fc, t (m²)	12.80
Ecs (Mpa)	23,800.00	largura (mm)	100	Ø	0.90	fs, s (kN/m²)	44.76
Mxd,pp (kNcm/m)	2,653.06	n camadas	1	número de fibras	1	fs, s lim (kN/m²)	34.78
αe	8.82	ε, sy	0.207%	A, fc (cm²/m)	0.167	ff, s	- 53.74
x,pp (cm)	3.55	ε, cu	0.30%	x (cm)	2.39	ff, s lim	209
I,2 (cm4)	9347	f, fu (kN/cm²)	380.00	x23 (cm)	3.69	SITUAÇÃO	OK
ei	0.231%	ε, fu	1.615%	xlim (cm)	9.47		
E,aço (MPa)	210000	E, f (kN/cm²)	23,529	Domínio	2		
df (cm)	20.0	ε, fd	1.034%	Mrdf (kN.cm/m)	4,414.73		

Figura 16 - Planilha eletrônica desenvolvida para cálculo do acréscimo de resistência e quantitativo de materiais utilizados no reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono.

4. ANÁLISE DE CUSTO

A seguir, serão descritas as considerações para o cálculo do custo direto, incluindo mão de obra, para a execução dos diferentes tipos de reforços. Utilizaram-se as composições do SINAPI (10/2016) e IOPES (08/2016), incluindo encargos sociais.

4.1. REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURA E ACRÉSCIMO DE SEÇÃO

Para o reforço com adição de armadura, serão considerados a execução dos seguintes passos para utilização de concreto auto adensável:

- a) Apicoamento da área total da laje;
- b) Abertura de uma janela para concretagem para cada 5m²;
- c) Limpeza e saturação da superfície com jato de água;
- d) Posicionamento da armadura positiva calculada nas duas direções da laje;
- e) Execução da forma e escoramento;
- f) Concretagem com concreto auto adensável com fck 25 MPa e espessura de 5cm.

Para o reforço com utilização de concreto projetado, serão considerados os seguintes passos:

- a) Apicoamento da área total da laje;
- b) Limpeza e saturação da superfície com jato de água;
- c) Posicionamento da armadura positiva nas duas direções da laje. As barras em contato com a laje devem ser coladas com adesivo epóxi Sikadur 32;
- d) Concretagem projetada com concreto com fck 25 MPa e espessura de 5cm.

A Tabela 4 apresenta as composições consideradas nos reforços em função da área da laje a ser reforçada e do peso de aço a ser adicionado.

Tabela 4. Composição de custo para o reforço com adição de armadura utilizando concreto auto adensável e projetado.

Composições							
Item	Base	Código	Descrição	Unidade	Coef.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
1	REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURA CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL						
1.1			PREPARO SUPERFÍCIE PARA COM APICOAMENTO, LIMPEZA E SATURAÇÃO COM JATO DE ÁGUA, EXECUÇÃO DA FÔRMA E CONCRETAGEM DE CAMADA DE 5cm	m²			
1.1.1	SINAPI	84084	APICOAMENTO MANUAL DE SUPERFICIE DE CONCRETO	m²	1.000	5.5	5.50
1.1.2	SINAPI	73806/1	LIMPEZA DE SUPERFICIES COM JATO DE ALTA PRESSAO DE AR E AGUA	m²	1.000	1.41	1.41
1.1.3	IOPES	10211	DEMOLIÇÃO DE CONCRETO ARMADO, COM UTILIZAÇÃO DE ROMPEDOR PNEUMÁTICO.	m³	0.003	607.11	1.64
1.1.4	SINAPI	92510	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 m², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	m²	1.000	33.78	33.78
1.1.5	SINAPI	90862-MOD	CONCRETAGEM DE LAJES COM CONCRETO USINADO AUTOADENSÁVEL, FCK 25 MPa, LANÇADO COM BOMBA LANÇA - LANÇAMENTO E ACABAMENTO. AF_06/2015	m³	0.050	292.17	14.61
						PREÇO (R\$):	56.94
1.2			CORTE E POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS	kg			
1.2.1	SINAPI	92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10.0 mm - MONTAGEM. AF_12/2015_P	kg	1.000	5.5	5.50
1.2.2	SINAPI	34439	ACO CA-50, 10,0 mm, DOBRADO E CORTADO	kg	1.000	4.26	4.26
						PREÇO (R\$):	9.76
2	REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURA CONCRETO PROJETADO						

Composições							
Item	Base	Código	Descrição	Unidade	Coef.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
2.1			PREPARO SUPERFÍCIE PARA COM APICOAMENTO, LIMPEZA E SATURAÇÃO COM JATO DE ÁGUA, EXECUÇÃO DA FÔRMA E CONCRETAGEM DE CAMADA DE 5cm	m²			
2.1.1	SINAPI	84084	APICOAMENTO MANUAL DE SUPERFICIE DE CONCRETO	m²	1.000	5.5	5.50
2.1.2	SINAPI	73806/1	LIMPEZA DE SUPERFICIES COM JATO DE ALTA PRESSAO DE AR E AGUA	m²	1.000	1.41	1.41
2.1.3	SINAPI	91069-MOD	EXECUÇÃO DE REVESTIMENTO DE CONCRETO PROJETADO COM ESPESSURA DE 5cm, APLICAÇÃO CONTÍNUA, UTILIZANDO EQUIPAMENTO DE PROJEÇÃO COM 6 m³/h DE CAPACIDADE. AF_01/2016	m²	1.000	39.48	39.48
						PREÇO (R\$):	46.39
2.2			CORTE E POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS	kg			
2.2.1	SINAPI	92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10.0 mm - MONTAGEM. AF_12/2015_P	kg	1.000	5.5	5.50
2.2.2	SINAPI	34439	ACO CA-50, 10,0 mm, DOBRADO E CORTADO	kg	1.000	4.26	4.26
2.2.3	SINAPI	COTAÇÃO	ADESIVO ESTRUTURAL A BASE DE RESINA EPOXI, BICOMPONENTE, FLUIDO - SIKADUR 32.	kg	0.050	78.72	3.94
						PREÇO (R\$):	13.70

4.2. REFORÇO COM ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA

Para o reforço com adição de chapa metálica, serão considerados a execução dos seguintes passos:

- Apicoamento da área total da laje;
- Limpeza da superfície com jato de água;
- Aplicação de uma camada de 2mm de adesivo epóxi SikaDur 32;
- Lixamento das chapas de aço e limpeza com solvente;
- Colagem de chapas metálicas ASTM A36, espessura de 6,36mm;

- f) Pintura anticorrosiva das chapas metálicas;
- g) Escoramento.

A Tabela 5 apresenta a composição considerada no reforço em função da área de chapa metálica adicionada à laje.

Tabela 5. Composição de custo para o reforço utilizando chapa metálica colada.

Composições							
Item	Base	Código	Descrição	Unidade	Coef.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
3	REFORÇO COM CHAPA DE AÇO COLADA						
3.1			PREPARO DE SUPERFÍCIE COM APICOAMENTO E LIMPEZA COM JATO DE ÁGUA, TRATAMENTO E POSICIONAMENTO DE CHAPA DE AÇO ASTM A36, 6.35mm, E ESCORAMENTO.	m ²			
3.1.1	SINAPI	84123	LIXAMENTO MAN C/ LIXA CALAFATE DE CONCR APARENTE ANTIGO	m ²	1.000	5.33	5.33
3.1.2	SINAPI	73806/1	LIMPEZA DE SUPERFÍCIES COM JATO DE ALTA PRESSÃO DE AR E ÁGUA	m ²	1.000	1.41	1.41
3.1.3		C-001	TRATAMENTO DA CHAPA DE AÇO, PREPARO E APLICAÇÃO DE 2mm DO ADESIVO ESTRUTURAL EPÓXI, POSICIONAMENTO DAS CHAPAS E PINTURA COM TINTA ANTICORROSIVA	m ²	1.000	303.42	303.42
3.1.4		C-002	MONTAGEM E DESMONTAGEM DO ESCORAMENTO	m ²	1.000	7.16	7.16
3.1.5	SINAPI	1330	CHAPA DE AÇO GROSSA, ASTM A36, E=1/4" (6.35mm) 49.79kg/m ²	kg	49.79	5.05	251.44
						PREÇO (R\$):	568.76

4.3. REFORÇO COM ADIÇÃO DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO (PRFC)

Para o reforço com adição de PRFC, serão considerados a execução dos seguintes passos:

- a) Lixamento mecânico e limpeza da face inferior da laje;
- b) Aplicação do primer Sikafloor 161;
- c) Aplicação da argamassa de regularização SikaRepair 222;
- d) Aplicação da primeira camada de resina saturante SikaDur 330;

- e) Aplicação do tecido de fibra de carbono Sika Wrap 300 C;
- f) Aplicação da segunda camada de resina saturante SikaDur 330;
- g) Aplicação do revestimento protetor com argamassa SikaRepair 222.

A Tabela 6 apresenta a composição considerada no reforço em função da área de PRFC adicionado à laje.

Tabela 6. Composição de custo para o reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono.

Composições							
Item	Base	Código	Descrição	Unidade	Coef.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
4	REFORÇO COM ADIÇÃO DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO						
4.1			PREPARO DE SUPERFÍCIE, APLICAÇÃO DE PRIMER, ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO, CAMADAS DE RESINA SATURANTE, TECIDO DE FIBRA DE CARBONO DE 1.4mm E REVESTIMENTO PROTETOR COM ARGAMASSA.	m²			
4.1.1	SINAPI	84123	LIXAMENTO MAN C/ LIXA CALAFATE DE CONCR APARENTE ANTIGO	m²	1.000	5.33	5.33
4.1.2	SINAPI	73806/1	LIMPEZA DE SUPERFÍCIES COM JATO DE ALTA PRESSÃO DE AR E ÁGUA	m²	1.000	1.41	1.41
4.1.3		C-003	APLICAÇÃO DE PRIMER, ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO, RESINA SATURANTE, TECIDO DE FIBRA DE CARBONO E REVESTIMENTO PROTETOR	m²	1.000	370.97	376.82
						PREÇO (R\$):	383.56

Todas as composições secundárias, indicadas com o código “C-xxx”, e as modificadas, indicadas com o sufixo “-MOD”, estão descritas no Apêndice A.

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados da análise da relação entre o custo e o acréscimo de resistência de lajes com configurações variadas.

5.1. LAJES COM VÃOS DE 8m

Para as lajes com vãos de 8m, os resultados da análise de acréscimo do momento resistente, considerando a espessura da laje variando em 15cm, 20cm e 30cm, estão apresentados a seguir.

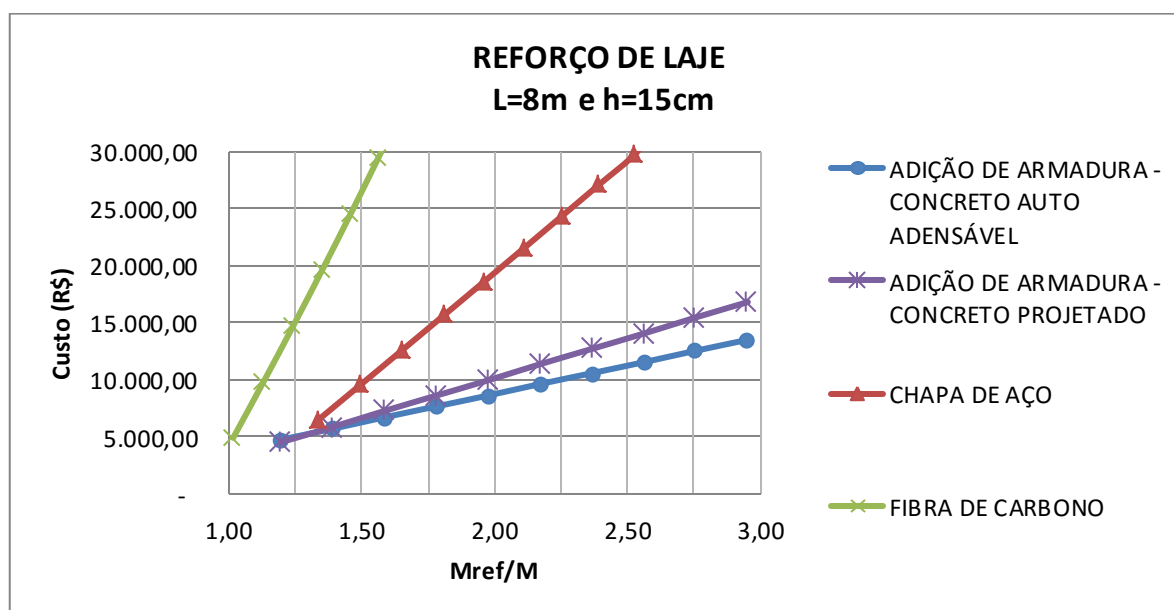


Figura 17. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 8m e espessura de 15cm.

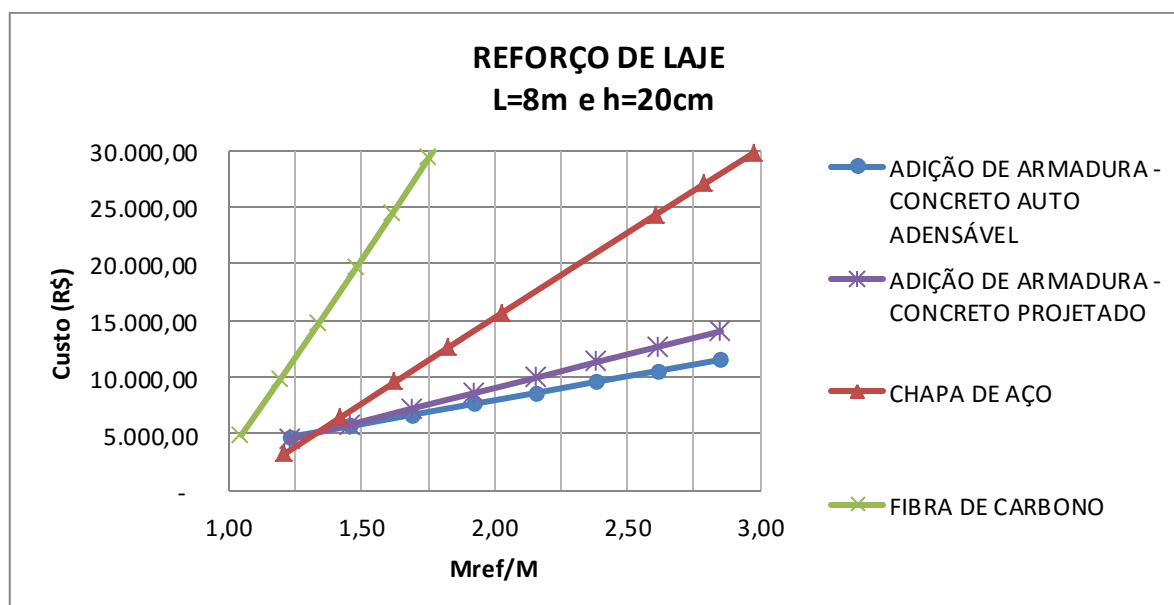


Figura 18. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 8m e espessura de 20cm.

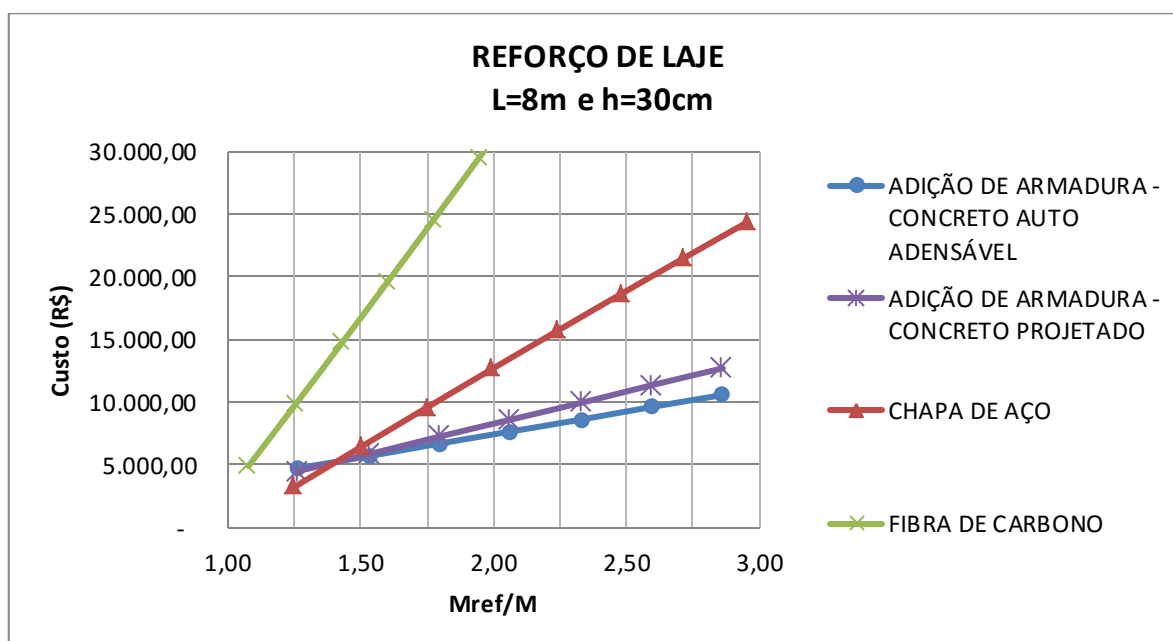


Figura 19. Gráfico $M_{ref}/M \times$ Custo – Laje com vão de 8m e espessura de 30cm.

Nesta situação, percebe-se que, para a espessura da laje de 15cm, os reforços com adição de chapa metálica ou adição de armadura com concreto auto adensável e projetado têm custos aproximados até o acréscimo de momento resistente em 50%. Acima deste valor, a interferência mais barata é a adição de armadura com concreto auto adensável.

Para as lajes com espessuras maiores, o reforço com chapa metálica é mais barato até o acréscimo em 60% do momento resistente, enquanto o reforço com adição de armadura com concreto auto adensável e projetado tem custos equivalentes. Acima deste valor, a utilização de armadura com concreto auto adensável passa a ter o melhor custo.

Para todas as situações, o reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono apresenta o custo muito elevado em relação às demais técnicas.

5.2. LAJES COM VÃOS DE 10m

Para as lajes com vãos de 10m, os resultados da análise de acréscimo do momento resistente, considerando a espessura da laje variando em 15cm, 20cm e 30cm, estão apresentados a seguir.

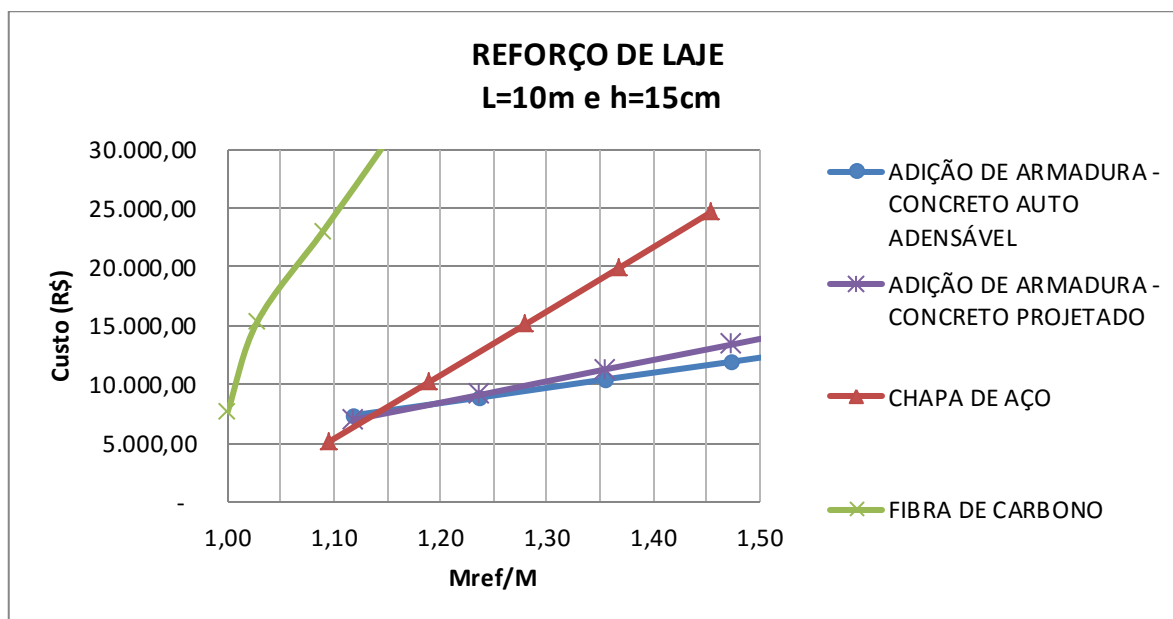


Figura 20. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 10m e espessura de 15cm.

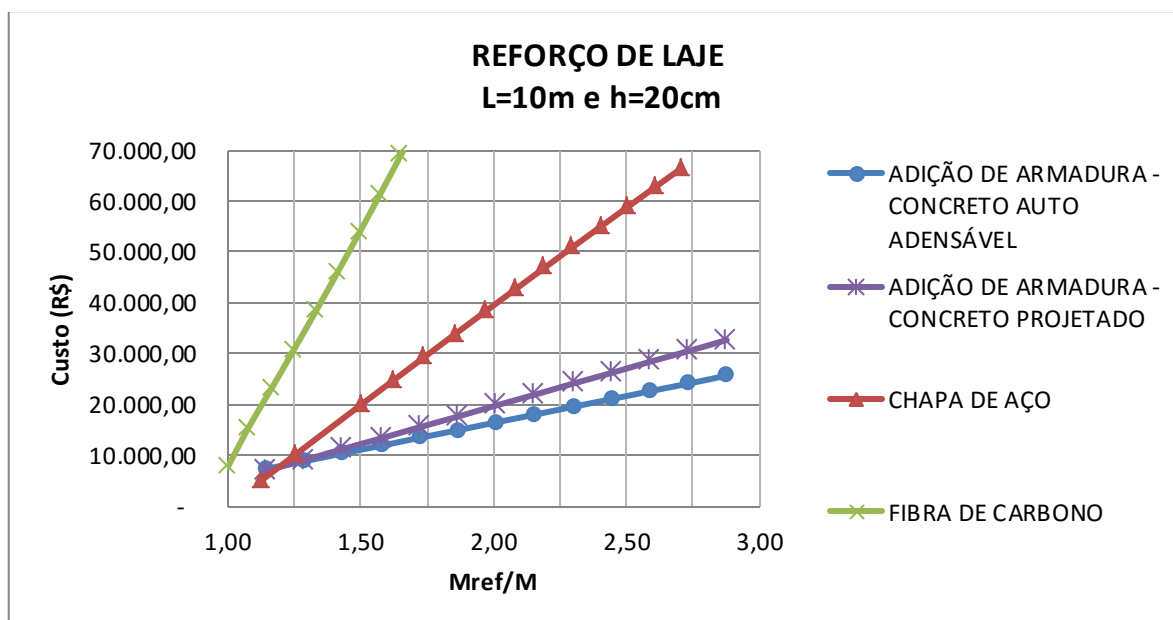


Figura 21. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 10m e espessura de 20cm.

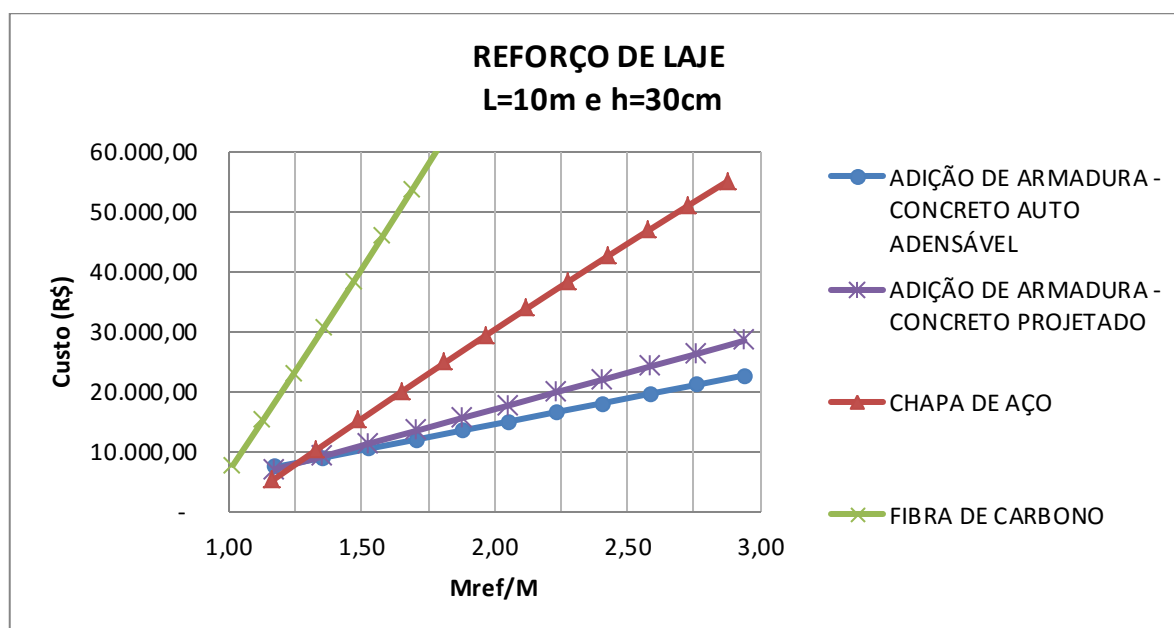


Figura 22. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 10m e espessura de 30cm.

Para a espessura de laje de 15cm, o reforço com chapa metálica é mais barato até o acréscimo em 20% do momento resistente, enquanto o reforço com adição de armadura com concreto auto adensável e projetado tem custos equivalentes. Acima deste valor, a utilização de armadura com concreto auto adensável passa a ter o melhor custo.

Em lajes com espessuras maiores, o reforço com chapa metálica é mais barato até o acréscimo em cerca de 40% do momento resistente, enquanto o reforço com adição de armadura com concreto auto adensável e projetado tem custos equivalentes. A partir deste valor, o reforço com adição de armadura e concreto auto adensável passa a ter o melhor custo.

Para todas as situações, o reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono apresenta o custo muito elevado em relação às demais técnicas.

5.3. LAJES COM VÃOS DE 12m

Para as lajes com vãos de 12m, os resultados da análise de acréscimo do momento resistente, considerando a espessura da laje com 20cm e 30cm, estão apresentados a seguir.

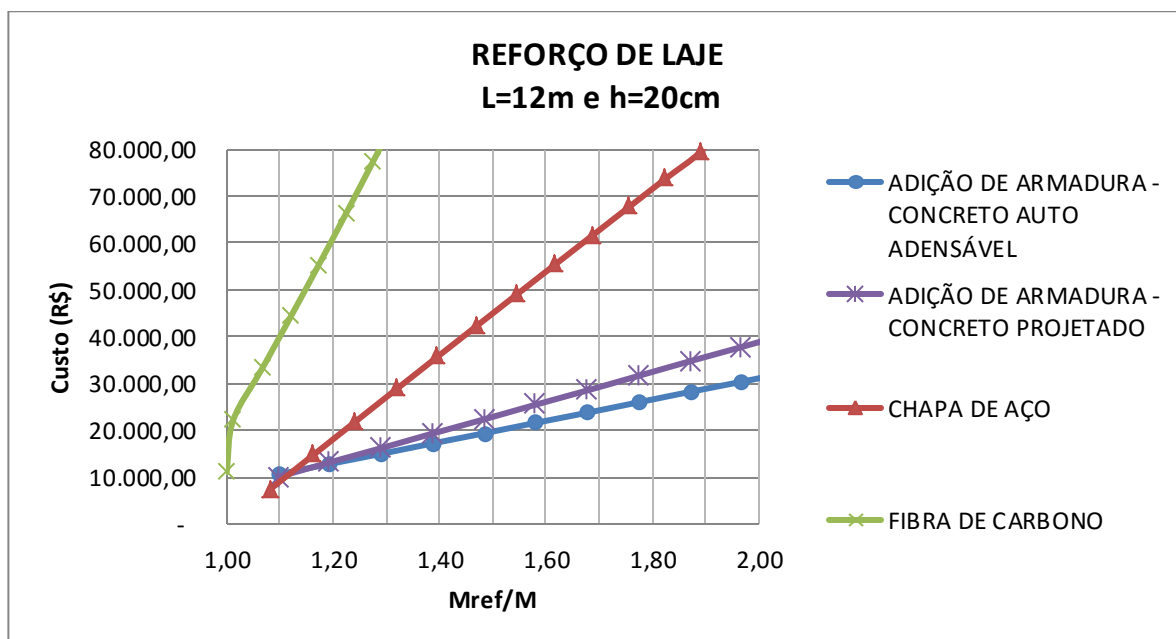


Figura 23. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 12m e espessura de 20cm.

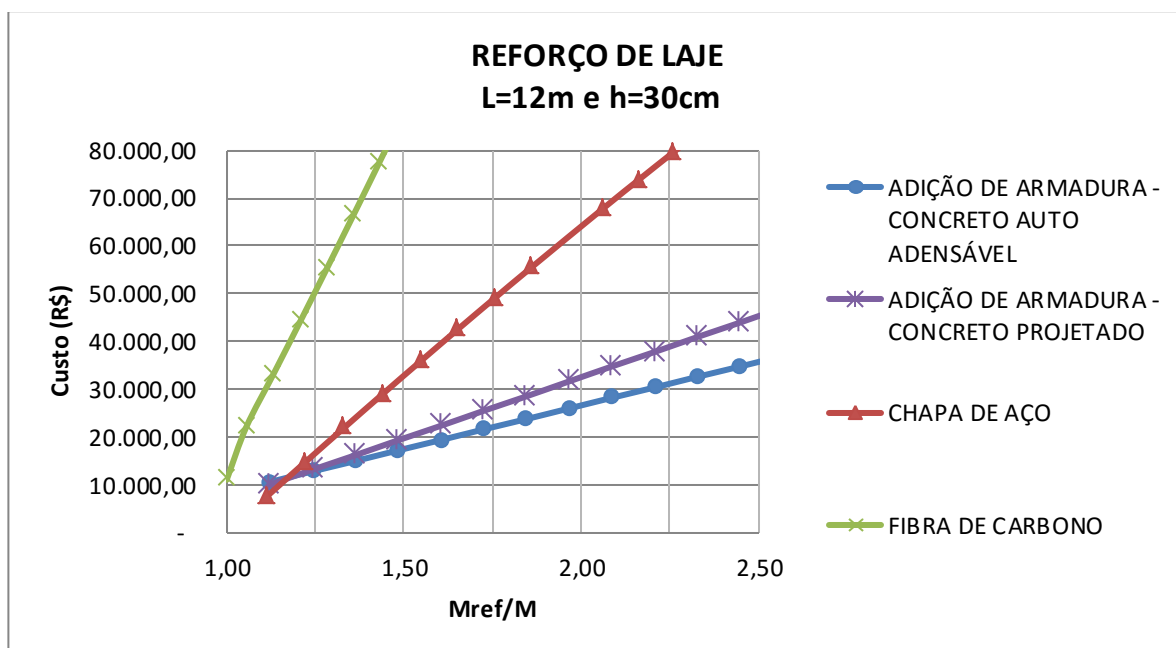


Figura 24. Gráfico M_{ref}/M x Custo – Laje com vão de 12m e espessura de 30cm.

Para espessuras da laje de 20cm e 30cm, o reforço com chapa metálica é mais barato até o acréscimo em 20% do momento resistente, enquanto o reforço com adição de armadura com concreto auto adensável e projetado tem custos equivalentes. Acima deste valor, a utilização de armadura com concreto auto adensável tem o melhor custo.

O reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono apresenta o custo muito elevado em relação às demais técnicas.

5.4. LAJES COM VÃOS DE 15m

Para as lajes com vãos de 15m, o resultados da análise de acréscimo do momento resistente, considerando a espessura da laje de 30cm, está apresentado a seguir.

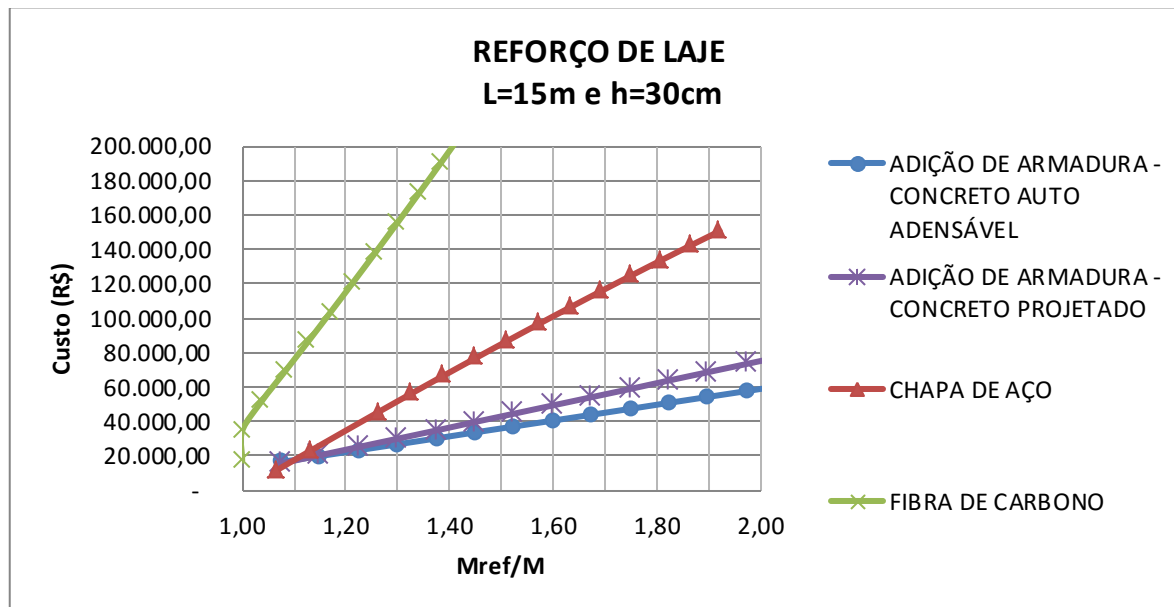


Figura 25. Gráfico Mref/M x Custo – Laje com vão de 15m e espessura de 30cm.

O reforço com chapa metálica é mais barato até o acréscimo em 15% do momento resistente, enquanto o reforço com adição de armadura com concreto auto adensável e projetado tem custos equivalentes. Acima deste valor, a utilização de armadura com concreto auto adensável tem o melhor custo.

O reforço com adição de polímero reforçado com fibra de carbono apresenta o custo muito elevado em relação às demais técnicas.

5.5. ANÁLISE GERAL

A Tabela 7 traz o resumo dos reforços que apresentam menores custos para cada combinação de parâmetros.

Tabela 7. Resumo dos reforços com menor custo para cada combinação de parâmetros. AA-AD: adição de armadura com concreto auto adensável; AA-P: adição de armadura com concreto projetado; CHM: adição de chapa metálica; FC: adição de fibra de carbono.

LAJE COM VÃO DE 8m			
Mref/M	Espessura da laje (cm)		
	15	20	30
1.2	CHM	CHM	CHM
1.4	CHM	CHM	CHM
1.6	AA-AD	CHM	CHM
1.8	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2.2	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2.4	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2.6	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2.8	AA-AD	AA-AD	AA-AD
3	AA-AD	AA-AD	AA-AD

LAJE COM VÃO DE 10m			
Mref/M	Espessura da laje (cm)		
	15	20	30
1.2	CHM	CHM	CHM
1.4	AA-AD	CHM	CHM
1.6	AA-AD	AA-AD	AA-AD
1.8	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2.2	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2.4	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2.6	AA-AD	AA-AD	AA-AD
2.8	AA-AD	AA-AD	AA-AD
3	AA-AD	AA-AD	AA-AD

LAJE COM VÃO DE 12m		
Mref/M	Espessura da laje (cm)	
	20	30
1.2	CHM	CHM
1.4	AA-AD	AA-AD
1.6	AA-AD	AA-AD
1.8	AA-AD	AA-AD
2	AA-AD	AA-AD
2.2	AA-AD	AA-AD
2.4	AA-AD	AA-AD
2.6	AA-AD	AA-AD
2.8	AA-AD	AA-AD
3	AA-AD	AA-AD

LAJE COM VÃO DE 15m	
Mref/M	Espessura da laje (cm)
	30
1.2	CHM
1.4	AA-AD
1.6	AA-AD
1.8	AA-AD
2	AA-AD
2.2	AA-AD
2.4	AA-AD
2.6	AA-AD
2.8	AA-AD
3	AA-AD

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão feitas as considerações finais sobre os resultados oriundos da aplicação numérica dos métodos de reforços. Além disso, são feitas sugestões para trabalhos futuros.

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análise dos resultados, conclui-se que o reforço da laje com adição de chapa metálica apresenta menor custo para uma faixa de acréscimo de resistência de 15% a 60%, dependendo das configurações iniciais do elemento estrutural.

Para esta mesma faixa, os reforços da laje com adição de armadura, utilizando concreto auto adensável e projetado, apresentam custos equivalentes. A partir desta faixa, o concreto auto adensável apresenta menor custo. O reforço utilizando o primeiro tipo de concretagem apresenta uma preparação com maior custo em relação ao segundo tipo, uma vez que se deve executar formas e escoramento. Já a montagem das armaduras apresenta maior custo para o segundo tipo de concretagem, pois foi considerado que as barras devem ser coladas com adesivo epóxi na laje. Nas primeiras áreas de aço adicionadas, as etapas de execução se compensam, mantendo o preço similar. Com o aumento da área de aço, a etapa de montagem das armaduras passa a governar o custo total, fazendo com que o reforço utilizando concreto projetado apresente maior custo.

Nota-se que, para um mesmo vão, em lajes com espessuras maiores, o reforço com adição de chapa metálica apresenta menores custos em relação aos demais reforços até maiores acréscimos de cargas. Isto se deve ao fato de que, quanto maior a espessura da laje, menor a altura da linha neutra e, conseqüentemente, maior a deformação do reforço, contribuindo mais para o aumento da parcela do momento resistente.

Para os casos analisados na Tabela 7, o reforço com adição de armadura com concreto auto adensável apresentou menor custo em 82% das combinações de parâmetros. O reforço com adição de chapa metálica conduziu ao menor custo em 18% das combinações.

O reforço com adição de polímero reforçado de fibra de carbono apresenta custos diretos maiores em todas as situações analisadas. Isso se deve ao fato de que a fibra de carbono é mais onerosa se comparado aos insumos utilizados em outras técnicas de reforço.

Há casos em que, embora sejam acrescentadas lâminas de fibras de carbono à laje, não se apresenta aumento do momento resistente. Isso ocorre devido ao fator de redução ϕ da resistência à flexão, apresentado na Equação (19), que multiplica o momento fletor resistente calculado.

Embora a interferência com adição de chapa metálica apresente menores custos para algumas faixas de acréscimo de resistência, o reforço com chapas nas duas direções da laje torna a execução difícil. O reforço com adição de armadura, embora na maioria dos casos apresente custos menores, é a interferência que tem maior tempo de execução.

Enquanto isso, apesar do reforço com fibra de carbono apresentar maior custo, é a interferência mais rápida e de fácil execução. Em casos em que há custos indiretos devido à paralisação do funcionamento da edificação, esta solução pode ser tornar viável economicamente.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante das diversas possibilidades de geometrias de lajes, quantidade de parâmetros envolvidos no dimensionamento dos reforços e na quantificação dos custos, recomenda-se que sejam abordados em trabalhos futuros:

- a) Lajes com o parâmetro l_x/l_y diferente de 1;
- b) Estudo da influência da armadura de compressão no cálculo do reforço;
- c) Consideração dos estados limites de serviços;
- d) Consideração da ancoragem das chapas metálicas e fibra de carbono;
- e) Consideração do momento negativo no cálculo do reforço;
- f) Consideração dos custos indiretos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 440.2R-08: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**. Farmington Hills, 2008.

BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. Porto Alegre. Universidade do Rio Grande do Sul, 2003.

CAMPOS, C. O.; ROCHA, A. P.; GOMES R. B.; MELO G. S. **Reforço em Lajes de Concreto Armado**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil – REEC, 2012.

GALLE, G. **Métodos de reforço passivos em elementos lineares fletidos em concreto armado: Estudo comparativo do acréscimo de capacidade portante através de programa computacional**. Porto Alegre. UFRS, 2011.

HELENE, P.R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo. PINI, 1992.

IOPES – INSTITUTO DE OBRAS PÚBLICAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Tabela Custos Referenciais Labor/CT-UFES**. Vitória, 11/2016.

MACHADO A. P. **Fibras de Carbono – Manual Prático de Dimensionamento**. Belo Horizonte. BASF, 2006.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

REIS, A. P. A. **Reforço de Vigas de Concreto Armado por Meio de Barras de Aço Adicionais ou Chapas de Aço e Argamassa de Alto Desempenho**. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RONCETTI, L. **Estudo Comparativo Entre Métodos de Dimensionamento de Reforços de Vigas de Concreto Armado à Flexão com Polímero Reforçado com Fibra de Carbono**. Vitória. IDD, 2011.

SIKA. Manual Técnico – Produtos Sika. Osasco. Sika, 2016.

SINAPI – SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONTRUÇÃO CIVIL. **PCI.817-01 - Custos de Composição Sintético**. Vitória, 11/2016.

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

APÊNDICE
APÊNDICE A

Neste apêndice são apresentadas as composições secundárias utilizadas na composição final dos reforços.

COMPOSIÇÕES SECUNDÁRIAS					
Código	Descrição	Unidade	Coef.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
90862-MOD	CONCRETAGEM DE LAJES COM CONCRETO USINADO AUTOADENSÁVEL, FCK 25 MPa, LANÇADO COM BOMBA LANÇA - LANÇAMENTO E ACABAMENTO. AF_06/2015	m³			
SINAPI-88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	0.301	19.62	5.91
SINAPI-88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	0.452	13.77	6.22
SINAPI-34872	CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA) CLASSE DE RESISTENCIA C25, ESPALHAMENTO SF2, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 15823)	m³	1.09	256.92	280.04
				PREÇO (R\$):	292.17
91069-MOD	EXECUÇÃO DE REVESTIMENTO DE CONCRETO PROJETADO COM ESPESSURA DE 5cm, APLICAÇÃO CONTÍNUA, UTILIZANDO EQUIPAMENTO DE PROJEÇÃO COM 6 m³/h DE CAPACIDADE. AF_01/2016	m³			
SINAPI-88297	OPERADOR DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	0.29	19.05	5.47
SINAPI-88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	0.43	13.77	5.93
SINAPI-88377	OPERADOR DE BETONEIRA ESTACIONÁRIA/MISTURADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	0.14	14.14	2.03
SINAPI-88830	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 l, CAPACIDADE DE MISTURA 310 l, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 HP, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF_10/2014	CHP	0.03	1.11	0.03
SINAPI-88831	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 l, CAPACIDADE DE MISTURA 310 l, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 HP, SEM CARREGADOR - CHI DIURNO. AF_10/2014	CHI	0.11	0.25	0.03
SINAPI-89509	TUBO PVC, SÉRIE R, ÁGUA PLUVIAL, DN 50 mm, FORNECIDO E INSTALADO EM RAMAL DE ENCAMINHAMENTO. AF_12/2014	m	0.09	19.03	1.70
SINAPI-90650	BOMBA CENTRÍFUGA MONOESTÁGIO COM MOTOR ELÉTRICO MONOFÁSICO, POTÊNCIA 15 HP, DIÂMETRO DO ROTOR 173 mm, HM/Q = 30 MCA / 90 m³/h A 45 MCA / 55 m³/h - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0.03	7.41	0.24
SINAPI-90651	BOMBA CENTRÍFUGA MONOESTÁGIO COM MOTOR ELÉTRICO MONOFÁSICO, POTÊNCIA 15 HP, DIÂMETRO DO ROTOR 173 mm, HM/Q = 30 MCA / 90 m³/h A 45 MCA / 55 m³/h - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0.11	0.69	0.08
SINAPI-90662	BOMBA DE PROJEÇÃO DE CONCRETO SECO, POTÊNCIA 10 CV, VAZÃO 6 m³/h - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0.03	9.94	0.32

COMPOSIÇÕES SECUNDÁRIAS					
Código	Descrição	Unidade	Coef.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
SINAPI-90663	BOMBA DE PROJEÇÃO DE CONCRETO SECO, POTÊNCIA 10 CV, VAZÃO 6 m³/h - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0.11	3.8	0.42
SINAPI-90979	COMPRESSOR DE AR REBOCÁVEL, VAZÃO 748 PCM, PRESSÃO EFETIVA DE TRABALHO 102 PSI, MOTOR DIESEL, POTÊNCIA 210 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0.03	117.95	3.81
SINAPI-90982	COMPRESSOR DE AR REBOCÁVEL, VAZÃO 748 PCM, PRESSÃO EFETIVA DE TRABALHO 102 PSI, MOTOR DIESEL, POTÊNCIA 210 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0.11	8.32	0.93
SINAPI-370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m³	0.07	30	2.14
SINAPI-1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	kg	30.29	0.43	13.02
SINAPI-4720	PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 mm) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m³	0.05	71.5	3.32
				PREÇO (R\$):	39.48
C-001	TRATAMENTO DA CHAPA DE AÇO, PREPARO E APLICAÇÃO DE 2mm DO ADESIVO ESTRUTURAL EPÓXI, POSICIONAMENTO DAS CHAPAS E PINTURA COM TINTA ANTICORROSIVA	m²			
SINAPI-88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	0.75	19.62	14.72
SINAPI-88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	0.75	13.77	10.33
COTAÇÃO	ADESIVO ESTRUTURAL A BASE DE RESINA EPOXI, BICOMPONENTE, FLUIDO- SIKADUR 32 - CONSUMO DE 1.7kg/mm.	kg	3.4	78.72	267.63
SINAPI-154	TINTA/REVESTIMENTO A BASE DE RESINA EPOXI COM ALCATRAO, BICOMPONENTE	l	0.24	44.77	10.74
				PREÇO (R\$):	303.42
C-002	MONTAGEM E DESMONTAGEM DO ESCORAMENTO	m²			
SINAPI-88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	0.42	13.77	5.74
SINAPI-10749	ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* a *3,20* m, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 kgf (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO (LOCACAO)	MES	0.1	4.58	0.46
SINAPI-40610	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 kg/m, COM EXTREMIDADES PLASTICAS (COLETADO CAIXA)	m	0.021	46.16	0.97
				PREÇO (R\$):	7.16
C-003	APLICAÇÃO DE PRIMER, ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO, RESINA SATURANTE, LÂMICA DE FIBRA DE CARBONO DE 1.4mm E REVESTIMENTO PROTETOR	m²			
SINAPI-88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	h	1.0	19.62	19.62
COTAÇÃO	PRIMER SIKAFLOOR 161, CONSUMO DE 550g/m²	kg	0.55	31.26	17.19

COMPOSIÇÕES SECUNDÁRIAS					
Código	Descrição	Unidade	Coef.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
COTAÇÃO	ARGAMASSA DE REGULARIZAÇÃO SIKAREPAIR 222, CAMADA DE 10mm, CONSUMO DE 66 SACOS DE 25 kg POR m ²	kg	16.5	2.40	39.65
	RESINA DE IMPREGNAÇÃO SATURANTE SIKADUR-330. 2 CAMADAS. CONSUMO PRIMEIRA CAMADA: 1kg/m ² ; CONSUMO SEGUNDA CAMADA: 0.8kg/m ²	kg	1.8	78.72	141.69
COTAÇÃO	TECIDO DE FIBRA DE CARBONO SIKAWRAP 300C/60	m ²	1	138.9	138.85
COTAÇÃO	REVESTIMENTO PROTETOR SIKAREPAIR 222, CAMADA DE 5mm, CONSUMO DE 66 SACOS DE 25 kg POR m ²	kg	8.25	2.40	19.82
				PREÇO (R\$):	376.82

APÊNDICE B

Neste apêndice são apresentadas as tabelas com quantitativos de materiais, acréscimo de resistência e com o custo total do reforço para cada configuração de laje analisada.

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURA E ACRÉSCIMO DE SEÇÃO						
A,aço (cm ²)	Mu/M	T,aço (kg)	Concreto (m ³)	Laje (m ²)	R\$ - Conc. Auto Adensável	R\$ - Conc. Projetado
h (cm)	15.00					
lx (cm)	800.00					
1.0	1.20	112.7	3.20	64	R\$ 4,743.9	R\$ 4,512.6
2.0	1.39	210.7	3.2	64	R\$ 5,700.2	R\$ 5,854.9
3.0	1.59	313.5	3.2	64	R\$ 6,704.3	R\$ 7,264.4
4.0	1.78	411.5	3.2	64	R\$ 7,660.5	R\$ 8,606.7
5.0	1.98	509.5	3.2	64	R\$ 8,616.8	R\$ 9,949.0
6.0	2.17	612.4	3.2	64	R\$ 9,620.9	R\$ 11,358.5
7.0	2.37	710.4	3.2	64	R\$ 10,577.2	R\$ 12,700.8
8.0	2.56	808.3	3.2	64	R\$ 11,533.5	R\$ 14,043.1
9.0	2.76	911.2	3.2	64	R\$ 12,537.6	R\$ 15,452.5
10.0	2.95	1009.2	3.2	64	R\$ 13,493.9	R\$ 16,794.9
11.0	3.08	1112.1	3.2	64	R\$ 14,497.9	R\$ 18,204.3
12.0	2.72	1210.0	3.2	64	R\$ 15,454.2	R\$ 19,546.6
13.0	2.35	1308.0	3.2	64	R\$ 16,410.5	R\$ 20,888.9
14.0	1.97	1410.9	3.2	64	R\$ 17,414.6	R\$ 22,298.4
15.0	1.57	1508.9	3.2	64	R\$ 18,370.9	R\$ 23,640.7
h (cm)	15.00					
lx (cm)	1000.00					
1.0	1.12	171.7	5.00	100	R\$ 7,370.0	R\$ 6,991.6
2.0	1.24	325.0	5	100	R\$ 8,866.5	R\$ 9,092.2
3.0	1.36	484.5	5	100	R\$ 10,422.8	R\$ 11,276.7
4.0	1.47	637.8	5	100	R\$ 11,919.2	R\$ 13,377.3
5.0	1.59	797.3	5	100	R\$ 13,475.5	R\$ 15,561.8
6.0	1.58	950.6	5	100	R\$ 14,972.0	R\$ 17,662.4
7.0	1.42	1110.1	5	100	R\$ 16,528.3	R\$ 19,847.0
8.0	1.25	1263.4	5	100	R\$ 18,024.7	R\$ 21,947.5
9.0	1.07	1422.9	5	100	R\$ 19,581.0	R\$ 24,132.1
10.0	0.88	1576.2	5	100	R\$ 21,077.5	R\$ 26,232.6
11.0	0.67	1735.6	5	100	R\$ 22,633.8	R\$ 28,417.2
12.0	0.46	1889.0	5	100	R\$ 24,130.2	R\$ 30,517.7
13.0	0.24	2048.4	5	100	R\$ 25,686.5	R\$ 32,702.3
14.0	0.01	2201.7	5	100	R\$ 27,183.0	R\$ 34,802.8
15.0	-0.22	2355.1	5	100	R\$ 28,679.4	R\$ 36,903.4
h (cm)	20.00					

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURA E ACRÉSCIMO DE SEÇÃO						
A,aço (cm²)	Mu/M	T,aço (kg)	Concreto (m³)	Laje (m²)	R\$ - Conc. Auto Adensável	R\$ - Conc. Projetado
lx (cm)	800.00					
1.0	1.23	112.7	3.20	64	R\$ 4,743.9	R\$ 4,512.6
2.0	1.46	210.7	3.2	64	R\$ 5,700.2	R\$ 5,854.9
3.0	1.69	313.5	3.2	64	R\$ 6,704.3	R\$ 7,264.4
4.0	1.93	411.5	3.2	64	R\$ 7,660.5	R\$ 8,606.7
5.0	2.16	509.5	3.2	64	R\$ 8,616.8	R\$ 9,949.0
6.0	2.39	612.4	3.2	64	R\$ 9,620.9	R\$ 11,358.5
7.0	2.62	710.4	3.2	64	R\$ 10,577.2	R\$ 12,700.8
8.0	2.85	808.3	3.2	64	R\$ 11,533.5	R\$ 14,043.1
9.0	3.08	911.2	3.2	64	R\$ 12,537.6	R\$ 15,452.5
10.0	3.31	1009.2	3.2	64	R\$ 13,493.9	R\$ 16,794.9
11.0	3.55	1112.1	3.2	64	R\$ 14,497.9	R\$ 18,204.3
12.0	3.78	1210.0	3.2	64	R\$ 15,454.2	R\$ 19,546.6
13.0	4.01	1308.0	3.2	64	R\$ 16,410.5	R\$ 20,888.9
14.0	4.24	1410.9	3.2	64	R\$ 17,414.6	R\$ 22,298.4
15.0	4.47	1508.9	3.2	64	R\$ 18,370.9	R\$ 23,640.7
h (cm)	20.00					
lx (cm)	1000.00					
1.0	1.14	171.7	5.00	100	R\$ 7,370.0	R\$ 6,991.6
2.0	1.29	325.0	5	100	R\$ 8,866.5	R\$ 9,092.2
3.0	1.43	484.5	5	100	R\$ 10,422.8	R\$ 11,276.7
4.0	1.58	637.8	5	100	R\$ 11,919.2	R\$ 13,377.3
5.0	1.72	797.3	5	100	R\$ 13,475.5	R\$ 15,561.8
6.0	1.87	950.6	5	100	R\$ 14,972.0	R\$ 17,662.4
7.0	2.01	1110.1	5	100	R\$ 16,528.3	R\$ 19,847.0
8.0	2.16	1263.4	5	100	R\$ 18,024.7	R\$ 21,947.5
9.0	2.30	1422.9	5	100	R\$ 19,581.0	R\$ 24,132.1
10.0	2.44	1576.2	5	100	R\$ 21,077.5	R\$ 26,232.6
11.0	2.59	1735.6	5	100	R\$ 22,633.8	R\$ 28,417.2
12.0	2.73	1889.0	5	100	R\$ 24,130.2	R\$ 30,517.7
13.0	2.88	2048.4	5	100	R\$ 25,686.5	R\$ 32,702.3
14.0	3.02	2201.7	5	100	R\$ 27,183.0	R\$ 34,802.8
15.0	3.17	2355.1	5	100	R\$ 28,679.4	R\$ 36,903.4
h (cm)	20.00					
lx (cm)	1200.00					
1.0	1.10	243.1	7.20	144	R\$ 10,572.1	R\$ 10,010.8
2.0	1.19	471.5	7.2	144	R\$ 12,801.1	R\$ 13,139.5
3.0	1.29	692.5	7.2	144	R\$ 14,958.1	R\$ 16,167.4
4.0	1.39	920.9	7.2	144	R\$ 17,187.1	R\$ 19,296.1
5.0	1.48	1141.9	7.2	144	R\$ 19,344.1	R\$ 22,323.9
6.0	1.58	1370.3	7.2	144	R\$ 21,573.1	R\$ 25,452.7
7.0	1.68	1591.3	7.2	144	R\$ 23,730.1	R\$ 28,480.5

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURA E ACRÉSCIMO DE SEÇÃO						
A, aço (cm ²)	Mu/M	T, aço (kg)	Concreto (m ³)	Laje (m ²)	R\$ - Conc. Auto Adensável	R\$ - Conc. Projetado
8.0	1.77	1819.6	7.2	144	R\$ 25,959.1	R\$ 31,609.3
9.0	1.87	2048.0	7.2	144	R\$ 28,188.0	R\$ 34,738.0
10.0	1.97	2269.0	7.2	144	R\$ 30,345.1	R\$ 37,765.9
11.0	2.07	2497.4	7.2	144	R\$ 32,574.0	R\$ 40,894.6
12.0	2.01	2718.4	7.2	144	R\$ 34,731.1	R\$ 43,922.5
13.0	1.89	2946.8	7.2	144	R\$ 36,960.0	R\$ 47,051.2
14.0	1.71	3167.8	7.2	144	R\$ 39,117.1	R\$ 50,079.0
15.0	1.54	3396.2	7.2	144	R\$ 41,346.1	R\$ 53,207.8
h (cm)	30.00					
lx (cm)	800.00					
1.0	1.27	112.7	3.20	64	R\$ 4,743.9	R\$ 4,512.6
2.0	1.53	210.7	3.2	64	R\$ 5,700.2	R\$ 5,854.9
3.0	1.80	313.5	3.2	64	R\$ 6,704.3	R\$ 7,264.4
4.0	2.06	411.5	3.2	64	R\$ 7,660.5	R\$ 8,606.7
5.0	2.33	509.5	3.2	64	R\$ 8,616.8	R\$ 9,949.0
6.0	2.60	612.4	3.2	64	R\$ 9,620.9	R\$ 11,358.5
7.0	2.86	710.4	3.2	64	R\$ 10,577.2	R\$ 12,700.8
8.0	3.13	808.3	3.2	64	R\$ 11,533.5	R\$ 14,043.1
9.0	3.39	911.2	3.2	64	R\$ 12,537.6	R\$ 15,452.5
10.0	3.66	1009.2	3.2	64	R\$ 13,493.9	R\$ 16,794.9
11.0	3.93	1112.1	3.2	64	R\$ 14,497.9	R\$ 18,204.3
12.0	4.19	1210.0	3.2	64	R\$ 15,454.2	R\$ 19,546.6
13.0	4.46	1308.0	3.2	64	R\$ 16,410.5	R\$ 20,888.9
14.0	4.72	1410.9	3.2	64	R\$ 17,414.6	R\$ 22,298.4
15.0	4.99	1508.9	3.2	64	R\$ 18,370.9	R\$ 23,640.7
h (cm)	30.00					
lx (cm)	1000.00					
1.0	1.18	171.7	5.00	100	R\$ 7,370.0	R\$ 6,991.6
2.0	1.35	325.0	5	100	R\$ 8,866.5	R\$ 9,092.2
3.0	1.53	484.5	5	100	R\$ 10,422.8	R\$ 11,276.7
4.0	1.71	637.8	5	100	R\$ 11,919.2	R\$ 13,377.3
5.0	1.88	797.3	5	100	R\$ 13,475.5	R\$ 15,561.8
6.0	2.06	950.6	5	100	R\$ 14,972.0	R\$ 17,662.4
7.0	2.23	1110.1	5	100	R\$ 16,528.3	R\$ 19,847.0
8.0	2.41	1263.4	5	100	R\$ 18,024.7	R\$ 21,947.5
9.0	2.59	1422.9	5	100	R\$ 19,581.0	R\$ 24,132.1
10.0	2.76	1576.2	5	100	R\$ 21,077.5	R\$ 26,232.6
11.0	2.94	1735.6	5	100	R\$ 22,633.8	R\$ 28,417.2
12.0	3.12	1889.0	5	100	R\$ 24,130.2	R\$ 30,517.7
13.0	3.29	2048.4	5	100	R\$ 25,686.5	R\$ 32,702.3
14.0	3.47	2201.7	5	100	R\$ 27,183.0	R\$ 34,802.8
15.0	3.65	2355.1	5	100	R\$ 28,679.4	R\$ 36,903.4

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE ARMADURA E ACRÉSCIMO DE SEÇÃO						
A,aço (cm²)	Mu/M	T,aço (kg)	Concreto (m³)	Laje (m²)	R\$ - Conc. Auto Adensável	R\$ - Conc. Projetado
h (cm)	30.00					
lx (cm)	1200.00					
1.0	1.12	243.1	7.20	144	R\$ 10,572.1	R\$ 10,010.8
2.0	1.24	471.5	7.2	144	R\$ 12,801.1	R\$ 13,139.5
3.0	1.36	692.5	7.2	144	R\$ 14,958.1	R\$ 16,167.4
4.0	1.48	920.9	7.2	144	R\$ 17,187.1	R\$ 19,296.1
5.0	1.60	1141.9	7.2	144	R\$ 19,344.1	R\$ 22,323.9
6.0	1.72	1370.3	7.2	144	R\$ 21,573.1	R\$ 25,452.7
7.0	1.84	1591.3	7.2	144	R\$ 23,730.1	R\$ 28,480.5
8.0	1.96	1819.6	7.2	144	R\$ 25,959.1	R\$ 31,609.3
9.0	2.09	2048.0	7.2	144	R\$ 28,188.0	R\$ 34,738.0
10.0	2.21	2269.0	7.2	144	R\$ 30,345.1	R\$ 37,765.9
11.0	2.33	2497.4	7.2	144	R\$ 32,574.0	R\$ 40,894.6
12.0	2.45	2718.4	7.2	144	R\$ 34,731.1	R\$ 43,922.5
13.0	2.57	2946.8	7.2	144	R\$ 36,960.0	R\$ 47,051.2
14.0	2.69	3167.8	7.2	144	R\$ 39,117.1	R\$ 50,079.0
15.0	2.81	3396.2	7.2	144	R\$ 41,346.1	R\$ 53,207.8
h (cm)	30.00					
lx (cm)	1500.00					
1.0	1.07	377.9	11.25	225	R\$ 16,500.2	R\$ 15,615.5
2.0	1.15	728.2	11.25	225	R\$ 19,918.9	R\$ 20,414.4
3.0	1.22	1078.5	11.25	225	R\$ 23,337.7	R\$ 25,213.3
4.0	1.30	1428.8	11.25	225	R\$ 26,756.5	R\$ 30,012.1
5.0	1.37	1779.1	11.25	225	R\$ 30,175.2	R\$ 34,811.0
6.0	1.45	2138.6	11.25	225	R\$ 33,684.0	R\$ 39,736.2
7.0	1.52	2488.9	11.25	225	R\$ 37,102.7	R\$ 44,535.1
8.0	1.60	2839.1	11.25	225	R\$ 40,521.5	R\$ 49,333.9
9.0	1.67	3189.4	11.25	225	R\$ 43,940.2	R\$ 54,132.8
10.0	1.75	3539.7	11.25	225	R\$ 47,359.0	R\$ 58,931.7
11.0	1.82	3899.2	11.25	225	R\$ 50,867.7	R\$ 63,856.9
12.0	1.90	4249.5	11.25	225	R\$ 54,286.5	R\$ 68,655.7
13.0	1.97	4599.8	11.25	225	R\$ 57,705.3	R\$ 73,454.6
14.0	2.05	4950.1	11.25	225	R\$ 61,124.0	R\$ 78,253.5
15.0	2.12	5300.3	11.25	225	R\$ 64,542.8	R\$ 83,052.4

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA				
A,ch (cm²)	Mu/M	P,ch,t (kg)	R\$	
h (cm)	15			
lx (cm)	800			
2.00	1.17	286.1	R\$	3,264.5
4.00	1.34	566.7	R\$	6,465.9
6.00	1.50	841.7	R\$	9,604.0
8.00	1.66	1111.2	R\$	12,679.0
10.00	1.81	1375.2	R\$	15,690.7
12.00	1.96	1633.6	R\$	18,639.3
14.00	2.11	1886.5	R\$	21,524.7
16.00	2.25	2133.8	R\$	24,346.8
18.00	2.39	2375.6	R\$	27,105.8
20.00	2.53	2611.9	R\$	29,801.6
22.00	2.62	2842.6	R\$	32,434.2
24.00	-3.24	3067.8	R\$	35,003.7
26.00	-3.47	3287.5	R\$	37,509.9
28.00	-3.69	3501.6	R\$	39,952.9
30.00	-3.91	3710.1	R\$	42,332.8
h (cm)	15.00			
lx (cm)	1000.00			
2.00	1.10	450.8	R\$	5,144.2
4.00	1.19	892.8	R\$	10,186.8
6.00	1.28	1325.8	R\$	15,127.9
8.00	1.37	1750.0	R\$	19,967.4
10.00	1.46	2165.2	R\$	24,705.4
12.00	1.45	2571.6	R\$	29,341.8
14.00	-1.18	2969.0	R\$	33,876.6
16.00	-1.34	3357.6	R\$	38,309.9
18.00	-1.48	3737.2	R\$	42,641.7
20.00	-1.63	4108.0	R\$	46,871.8
22.00	-1.77	4469.8	R\$	51,000.4
24.00	-1.91	4822.7	R\$	55,027.5
26.00	-2.04	5166.8	R\$	58,953.0
28.00	-2.17	5501.9	R\$	62,776.9
30.00	-2.30	5828.2	R\$	66,499.3
h (cm)	20.00			
lx (cm)	800.00			
2.00	1.21	286.1	R\$	3,264.5
4.00	1.42	566.7	R\$	6,465.9
6.00	1.63	841.7	R\$	9,604.0
8.00	1.83	1111.2	R\$	12,679.0
10.00	2.03	1375.2	R\$	15,690.7
12.00	2.23	1633.6	R\$	18,639.3

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA				
A,ch (cm²)	Mu/M	P,ch,t (kg)	R\$	
14.00	2.42	1886.5	R\$	21,524.7
16.00	2.61	2133.8	R\$	24,346.8
18.00	2.79	2375.6	R\$	27,105.8
20.00	2.98	2611.9	R\$	29,801.6
22.00	3.16	2842.6	R\$	32,434.2
24.00	3.33	3067.8	R\$	35,003.7
26.00	3.51	3287.5	R\$	37,509.9
28.00	3.68	3501.6	R\$	39,952.9
30.00	3.84	3710.1	R\$	42,332.8
h (cm)	20.00			
lx (cm)	1000.00			
2.00	1.13	450.8	R\$	5,144.2
4.00	1.26	892.8	R\$	10,186.8
6.00	1.38	1325.8	R\$	15,127.9
8.00	1.50	1750.0	R\$	19,967.4
10.00	1.62	2165.2	R\$	24,705.4
12.00	1.74	2571.6	R\$	29,341.8
14.00	1.86	2969.0	R\$	33,876.6
16.00	1.97	3357.6	R\$	38,309.9
18.00	2.08	3737.2	R\$	42,641.7
20.00	2.19	4108.0	R\$	46,871.8
22.00	2.30	4469.8	R\$	51,000.4
24.00	2.40	4822.7	R\$	55,027.5
26.00	2.51	5166.8	R\$	58,953.0
28.00	2.61	5501.9	R\$	62,776.9
30.00	2.71	5828.2	R\$	66,499.3
h (cm)	20.00			
lx (cm)	1200.00			
2.00	1.08	652.9	R\$	7,449.3
4.00	1.16	1292.7	R\$	14,749.6
6.00	1.24	1919.5	R\$	21,901.0
8.00	1.32	2533.2	R\$	28,903.4
10.00	1.40	3133.8	R\$	35,756.9
12.00	1.47	3721.4	R\$	42,461.4
14.00	1.55	4296.0	R\$	49,017.0
16.00	1.62	4857.5	R\$	55,423.6
18.00	1.69	5405.9	R\$	61,681.2
20.00	1.76	5941.3	R\$	67,790.0
22.00	1.83	6463.6	R\$	73,749.7
24.00	1.89	6972.9	R\$	79,560.5
26.00	1.92	7469.1	R\$	85,222.4
28.00	1.91	7952.3	R\$	90,735.3

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA				
A,ch (cm²)	Mu/M	P,ch,t (kg)	R\$	
30.00	-1.92	8422.4	R\$	96,099.2
h (cm)	30.00			
lx (cm)	800.00			
2.00	1.25	286.1	R\$	3,264.5
4.00	1.50	566.7	R\$	6,465.9
6.00	1.75	841.7	R\$	9,604.0
8.00	2.00	1111.2	R\$	12,679.0
10.00	2.24	1375.2	R\$	15,690.7
12.00	2.48	1633.6	R\$	18,639.3
14.00	2.72	1886.5	R\$	21,524.7
16.00	2.95	2133.8	R\$	24,346.8
18.00	3.19	2375.6	R\$	27,105.8
20.00	3.42	2611.9	R\$	29,801.6
22.00	3.65	2842.6	R\$	32,434.2
24.00	3.87	3067.8	R\$	35,003.7
26.00	4.10	3287.5	R\$	37,509.9
28.00	4.32	3501.6	R\$	39,952.9
30.00	4.53	3710.1	R\$	42,332.8
h (cm)	30.00			
lx (cm)	1000.00			
2.00	1.17	450.8	R\$	5,144.2
4.00	1.33	892.8	R\$	10,186.8
6.00	1.49	1325.8	R\$	15,127.9
8.00	1.65	1750.0	R\$	19,967.4
10.00	1.81	2165.2	R\$	24,705.4
12.00	1.97	2571.6	R\$	29,341.8
14.00	2.13	2969.0	R\$	33,876.6
16.00	2.28	3357.6	R\$	38,309.9
18.00	2.43	3737.2	R\$	42,641.7
20.00	2.58	4108.0	R\$	46,871.8
22.00	2.73	4469.8	R\$	51,000.4
24.00	2.88	4822.7	R\$	55,027.5
26.00	3.02	5166.8	R\$	58,953.0
28.00	3.17	5501.9	R\$	62,776.9
30.00	3.31	5828.2	R\$	66,499.3
h (cm)	30.00			
lx (cm)	1200.00			
2.00	1.11	652.9	R\$	7,449.3
4.00	1.22	1292.7	R\$	14,749.6
6.00	1.33	1919.5	R\$	21,901.0
8.00	1.44	2533.2	R\$	28,903.4
10.00	1.55	3133.8	R\$	35,756.9

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE CHAPA METÁLICA				
A,ch (cm²)	Mu/M	P,ch,t (kg)	R\$	
12.00	1.65	3721.4	R\$	42,461.4
14.00	1.76	4296.0	R\$	49,017.0
16.00	1.86	4857.5	R\$	55,423.6
18.00	1.96	5405.9	R\$	61,681.2
20.00	2.06	5941.3	R\$	67,790.0
22.00	2.16	6463.6	R\$	73,749.7
24.00	2.26	6972.9	R\$	79,560.5
26.00	2.36	7469.1	R\$	85,222.4
28.00	2.45	7952.3	R\$	90,735.3
30.00	2.55	8422.4	R\$	96,099.2
h (cm)	30.00			
lx (cm)	1500.00			
2.00	1.07	1025.8	R\$	11,704.6
4.00	1.13	2030.9	R\$	23,172.1
6.00	1.20	3015.1	R\$	34,402.8
8.00	1.26	3978.7	R\$	45,396.4
10.00	1.33	4921.4	R\$	56,153.1
12.00	1.39	5843.4	R\$	66,672.8
14.00	1.45	6744.6	R\$	76,955.6
16.00	1.51	7625.0	R\$	87,001.3
18.00	1.57	8484.7	R\$	96,810.2
20.00	1.63	9323.6	R\$	106,382.0
22.00	1.69	10141.7	R\$	115,716.9
24.00	1.75	10939.1	R\$	124,814.8
26.00	1.81	11715.7	R\$	133,675.7
28.00	1.87	12471.5	R\$	142,299.7
30.00	1.92	13206.5	R\$	150,686.7

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE PRFC				
A,fc (cm²/m)	Mu/M	A,fc,t (m2)	R\$	
h (cm)	15.00			
lx (cm)	800.00			
0.17	1.02	12.8	R\$	4,909.6
0.33	1.13	25.6	R\$	9,819.1
0.50	1.24	38.4	R\$	14,728.7
0.67	1.35	51.2	R\$	19,638.3
0.84	1.46	64	R\$	24,547.8
1.00	1.56	76.8	R\$	29,457.4
1.17	1.67	89.6	R\$	34,367.0
1.34	1.77	102.4	R\$	39,276.5
1.50	1.86	115.2	R\$	44,186.1
1.67	1.96	128	R\$	49,095.7
1.84	2.05	140.8	R\$	54,005.2
2.00	2.14	153.6	R\$	58,914.8
2.17	2.22	166.4	R\$	63,824.4
2.34	2.31	179.2	R\$	68,734.0
2.51	2.39	192	R\$	73,643.5
h (cm)	15.00			
lx (cm)	1000.00			
0.17	1.00	20	R\$	7,671.2
0.33	1.03	40	R\$	15,342.4
0.50	1.09	60	R\$	23,013.6
0.67	1.15	80	R\$	30,684.8
0.84	1.21	100	R\$	38,356.0
1.00	1.26	120	R\$	46,027.2
1.17	1.32	140	R\$	53,698.4
1.34	1.37	160	R\$	61,369.6
1.50	1.43	180	R\$	69,040.8
1.67	1.48	200	R\$	76,712.0
1.84	1.52	220	R\$	84,383.2
2.00	1.52	240	R\$	92,054.4
2.17	1.49	260	R\$	99,725.6
2.34	1.46	280	R\$	107,396.8
2.51	1.40	300	R\$	115,068.0
h (cm)	20.00			
lx (cm)	800.00			
0.17	1.05	12.8	R\$	4,909.6
0.33	1.19	25.6	R\$	9,819.1
0.50	1.34	38.4	R\$	14,728.7
0.67	1.48	51.2	R\$	19,638.3
0.84	1.62	64	R\$	24,547.8
1.00	1.76	76.8	R\$	29,457.4

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE PRFC				
A,fc (cm ² /m)	Mu/M	A,fc,t (m ²)	R\$	
1.17	1.89	89.6	R\$	34,367.0
1.34	2.03	102.4	R\$	39,276.5
1.50	2.16	115.2	R\$	44,186.1
1.67	2.28	128	R\$	49,095.7
1.84	2.41	140.8	R\$	54,005.2
2.00	2.54	153.6	R\$	58,914.8
2.17	2.66	166.4	R\$	63,824.4
2.34	2.78	179.2	R\$	68,734.0
2.51	2.89	192	R\$	73,643.5
h (cm)	20.00			
lx (cm)	1000.00			
0.17	1.00	20	R\$	7,671.2
0.33	1.08	40	R\$	15,342.4
0.50	1.16	60	R\$	23,013.6
0.67	1.25	80	R\$	30,684.8
0.84	1.33	100	R\$	38,356.0
1.00	1.41	120	R\$	46,027.2
1.17	1.49	140	R\$	53,698.4
1.34	1.57	160	R\$	61,369.6
1.50	1.65	180	R\$	69,040.8
1.67	1.73	200	R\$	76,712.0
1.84	1.80	220	R\$	84,383.2
2.00	1.88	240	R\$	92,054.4
2.17	1.95	260	R\$	99,725.6
2.34	2.02	280	R\$	107,396.8
2.51	2.09	300	R\$	115,068.0
h (cm)	20.00			
lx (cm)	1200.00			
A,fc (cm ² /m)	Mu/M	A,fc,t (m ²)	R\$	
0.17	1.00	28.8	R\$	11,046.5
0.33	1.01	57.6	R\$	22,093.1
0.50	1.07	86.4	R\$	33,139.6
0.67	1.12	115.2	R\$	44,186.1
0.84	1.17	144	R\$	55,232.6
1.00	1.22	172.8	R\$	66,279.2
1.17	1.28	201.6	R\$	77,325.7
1.34	1.32	230.4	R\$	88,372.2
1.50	1.37	259.2	R\$	99,418.8
1.67	1.42	288	R\$	110,465.3
1.84	1.47	316.8	R\$	121,511.8
2.00	1.51	345.6	R\$	132,558.3
2.17	1.56	374.4	R\$	143,604.9

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE PRFC				
A,fc (cm ² /m)	Mu/M	A,fc,t (m ²)	R\$	
2.34	1.60	403.2	R\$	154,651.4
2.51	1.65	432	R\$	165,697.9
h (cm)	30.00			
lx (cm)	800.00			
0.17	1.08	12.8	R\$	4,909.6
0.33	1.26	25.6	R\$	9,819.1
0.50	1.43	38.4	R\$	14,728.7
0.67	1.60	51.2	R\$	19,638.3
0.84	1.78	64	R\$	24,547.8
1.00	1.95	76.8	R\$	29,457.4
1.17	2.11	89.6	R\$	34,367.0
1.34	2.28	102.4	R\$	39,276.5
1.50	2.45	115.2	R\$	44,186.1
1.67	2.61	128	R\$	49,095.7
1.84	2.77	140.8	R\$	54,005.2
2.00	2.93	153.6	R\$	58,914.8
2.17	3.09	166.4	R\$	63,824.4
2.34	3.25	179.2	R\$	68,734.0
2.51	3.40	192	R\$	73,643.5
h (cm)	30.00			
lx (cm)	1000.00			
0.17	1.02	20	R\$	7,671.2
0.33	1.13	40	R\$	15,342.4
0.50	1.25	60	R\$	23,013.6
0.67	1.36	80	R\$	30,684.8
0.84	1.47	100	R\$	38,356.0
1.00	1.58	120	R\$	46,027.2
1.17	1.69	140	R\$	53,698.4
1.34	1.80	160	R\$	61,369.6
1.50	1.91	180	R\$	69,040.8
1.67	2.01	200	R\$	76,712.0
1.84	2.12	220	R\$	84,383.2
2.00	2.22	240	R\$	92,054.4
2.17	2.33	260	R\$	99,725.6
2.34	2.43	280	R\$	107,396.8
2.51	2.53	300	R\$	115,068.0
h (cm)	30.00			
lx (cm)	1200.00			
0.17	1.00	28.8	R\$	11,046.5
0.33	1.06	57.6	R\$	22,093.1
0.50	1.13	86.4	R\$	33,139.6
0.67	1.21	115.2	R\$	44,186.1

QUANTITATIVO - REFORÇO COM ADIÇÃO DE PRFC				
A,fc (cm ² /m)	Mu/M	A,fc,t (m2)	R\$	
0.84	1.28	144	R\$	55,232.6
1.00	1.36	172.8	R\$	66,279.2
1.17	1.43	201.6	R\$	77,325.7
1.34	1.50	230.4	R\$	88,372.2
1.50	1.57	259.2	R\$	99,418.8
1.67	1.65	288	R\$	110,465.3
1.84	1.72	316.8	R\$	121,511.8
2.00	1.79	345.6	R\$	132,558.3
2.17	1.85	374.4	R\$	143,604.9
2.34	1.92	403.2	R\$	154,651.4
2.51	1.99	432	R\$	165,697.9
h (cm)	30.00			
lx (cm)	1500.00			
0.17	1.00	45	R\$	17,260.2
0.33	1.00	90	R\$	34,520.4
0.50	1.04	135	R\$	51,780.6
0.67	1.08	180	R\$	69,040.8
0.84	1.13	225	R\$	86,301.0
1.00	1.17	270	R\$	103,561.2
1.17	1.21	315	R\$	120,821.4
1.34	1.26	360	R\$	138,081.6
1.50	1.30	405	R\$	155,341.8
1.67	1.34	450	R\$	172,602.0
1.84	1.38	495	R\$	189,862.2
2.00	1.42	540	R\$	207,122.4
2.17	1.46	585	R\$	224,382.6
2.34	1.50	630	R\$	241,642.8
2.51	1.54	675	R\$	258,903.0

ANEXO

SikaWrap®-300 C

Tecido de fibra de carbono unidirecional para reforço estrutural

DESCRIÇÃO DO PRODUTO

SikaWrap®-300 C é um tecido de fibra de carbono, unidirecional, para reforço estrutural, projetado para aplicações por processo úmido ou seco.

**USOS**

Reforço de estruturas de concreto armado, alvenaria e madeira em caso de sobrecargas devido a esforço de flexão ou cisalhamento devido a:

- Aumento da resistência ao sismo de paredes de alvenaria;
- Complementação de seção de aço faltante;
- Aumento da resistência e ductilidade das colunas;
- Aumento da capacidade de carga de elementos estruturais;
- Alteração na utilização da estrutura;
- Correção de falhas no projeto estrutural ou erros construtivos;
- Aumento da resistência a cargas sísmicas;
- Aumento da vida de serviço e durabilidade da estrutura;
- Adaptação a normas e requisitos de capacidade de carga de estruturas.

CARACTERÍSTICAS / VANTAGENS

- Tecido multifuncional para uso em muitas aplicações de reforço estrutural;
- Adapta-se a diversos elementos e geometrias (vigas, colunas, chaminés, pilares, paredes, consolos, silos, etc.);
- Mínimo peso adicional por causa da baixa densidade;
- Excelente relação custo-benefício em comparação com outras técnicas de reforço estrutural.

TESTES**Aprovações / Normas**

Eslováquia: TSUS, Building Testing and research institutes, Technical Approval TO-09/0080, 2009: Systémy dodatčného zosilňovania konštrukcií Sika® CarboDur® S a SikaWrap® (Slovak).

Polónia: Technical Approval ITB AT-15-5604/2011: Zestaw wyrobów Sika CarboDur do wzmacniania i napraw konstrukcji betonowych (Polish).

Polónia: Technical Approval IBDiM Nr AT/2008-03-0336/1 „Płaskowniki, prety, kształtki i maty kompozytowe do wzmacniania betonu o nazwie handlowej: Zestaw materiałów Sika® CarboDur® S do wzmacniania konstrukcji obiektów mostowych (Polish).

EUA: ACI 440.2R-08, Guide for the Design and construction of Externally Bonded FRP Systems for strengthening concrete structures, July 2008.

Reino Unido: Concrete Society Technical Report n°. 55, Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite material, 2012 (UK).

Itália: CNR-DT 200/2004 - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures.

DADOS DO PRODUTO

Tipo de fibra	Composição do tecido	Embalagem
Fibras de carbono	Orientação das fibras: 0° (unidirecional) Longitudinal: fibras de carbono pretas (99% do peso total) Transversal: fibras termoplásticas brancas (1% do peso total)	Rolo com 0,50 m x 100 m (50 m²)

ESTOCAGEM**Validade e condições de armazenamento**

24 meses a partir da data de fabricação, se estocado apropriadamente em embalagem original e intacta, em temperatura entre +5 °C e +35 °C, protegido da umidade, do gelo e da ação direta do sol.

DADOS TÉCNICOS

Gramatura	Espessura do tecido	Densidade da fibra
304 g/m ² + 10 g/m ² (fibras de carbono)	0,167 mm (baseado na quantidade de fibra)	1,82 g/cm ³

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Propriedades da fibra seca		
Valores referentes ao sentido longitudinal das fibras (conforme ISO 101618)		
Resistência à tração	Valor mínimo	4.000 N/mm ²
Módulo de elasticidade	Valor mínimo	230.000 N/mm ²
Alongamento na ruptura	Valor mínimo	1,7%

Propriedades do laminado		
Valores referentes ao sentido longitudinal das fibras (Conforme a EN 2561*)		
Camada única, mínimo 27 amostras por teste		
Espessura do laminado (nominal)		0,167 mm
Seção transversal (por 1.000 mm de largura)		167 mm ²
Módulo de elasticidade	Médio	225 kN/mm ²
	Nominal	220 kN/mm ²
Resistência à tração	Média	3500 N/mm ²
	Nominal	3200 N/mm ²

Valores de cálculo

Os valores de projeto para cálculo devem ser definidos de acordo com as normas de projeto relevantes e vigentes.

Os valores indicados referem-se ao compósito formado pelo tecido SikaWrap®-300 C impregnado com adesivo epóxi Sikadur®-330 ou Sikadur®-300.

Resistência à tração	Média	585 kN/m
	Nominal	534 kN/m
No alongamento a 0,4%	Média	150 kN/m
	Nominal	147 kN/m
No alongamento a 0,6%	Média	225 kN/m
	Nominal	220 kN/m

INFORMAÇÕES DO SISTEMA**Estrutura do sistema**

A configuração do sistema descrito a seguir deve ser obedecida na íntegra e não pode ser alterada.
 Resinas adesivas para impregnação/imprimação e nivelamento do substrato de concreto: Sikadur®-330 ou Sikadur®-300 com areia de quartzo Sikadur®-512.
 Resina de impregnação/laminação do tecido de fibra de carbono: Sikadur®-330 ou Sikadur®-300.
 Tecido para reforço estrutural: SikaWrap®-300 C.
 Para obter as propriedades detalhadas da resina, detalhes de aplicação do tecido e informações gerais, consulte a ficha técnica do Sikadur®-330 ou Sikadur®-300.
 Consulte a ficha técnica do produto e o Método de Aplicação de Tecidos SikaWrap® no Sistema Seco (Ref. 850 41 02), ou no Sistema Úmido (Ref. 850 41 03 e Ref. 850 41 04) para mais informações.

SikaRepair®-222 BR

Argamassa polimérica para reparos em estruturas de concreto

DESCRIÇÃO DO PRODUTO

SikaRepair®-222 BR é uma argamassa cimentícia, polimérica, monocomponente, de consistência tixotrópica. Indicada para reparo de estruturas de concreto em superfícies horizontais ou verticais. É fornecida pronta para uso, bastando adicionar água na dosagem indicada.

USOS

- Para reparos estruturais em elementos de concreto;
- Recomposição de cantos vivos e peças de concreto;
- Reparos em pontes, obras marítimas e industriais;
- Reparos em reservatórios de efluentes, galerias, canais, canaletas, etc.;
- Reparo de pilares, vigas e lajes de concreto;
- Revestimento projetado "via úmida" para recuperação ou reconstituição da superfície do concreto ou aumento da espessura do cobrimento.

CARACTERÍSTICAS / VANTAGENS

- Tixotrópica pode ser aplicada em superfícies verticais, horizontais, fundo de lajes e vigas;
- Produto monocomponente;
- Excelente resistência mecânica;
- Ótima aderência em superfícies de concreto, alvenaria ou argamassa;
- Possui retração compensada;
- Baixa permeabilidade;
- Para grandes áreas pode ser projetado no sistema de "via úmida";
- Elevada durabilidade;
- Dispensa a utilização de formas.

TESTES

Aprovações / Normas

Resistência à compressão para reparos estruturais conforme classe R3 da EN 1504 (Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity Part 3: Structural and non-structural repair).

DADOS DO PRODUTO

Aparência / Cor	Embalagem
Tixotrópico. Cinza escuro	Saco com 25 kg

ESTOCAGEM

Validade e condições de armazenamento

6 meses a partir da data de fabricação, se estocado apropriadamente em embalagem original e intacta, em temperatura entre +5 °C e +35 °C, protegido da umidade, do gelo e da ação direta do sol.

DADOS TÉCNICOS

Base química	Densidade	Graunulometria
Cimento Portland, areia de quartzo e resina sintética	~ 1,85 kg/L (relação água:pó 0,13) a +25 °C ~ 1,80 kg/L (relação água:pó 0,14) a +25 °C	Diâm. máx. do agregado 1,4 mm

Espessura por camada

Mínimo 10 mm/Máximo 25 mm

Nota: A espessura limite máxima de aplicação por camada pode variar em função da relação entre área e profundidade dos reparos e é diretamente relacionada com a capacidade do produto de suportar o próprio peso no estado fresco, portanto, este valor pode variar, para mais ou para menos, devendo ser ajustado em cada caso.

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Resistência à compressão		
Idade	Relação água:pó 0,13 (aplicação manual)	Relação água:pó 0,14 (aplicação por projeção)
24 h	≥ 15 MPa	≥ 12 MPa
03 d	≥ 22 MPa	≥ 18 MPa
07 d	≥ 28 MPa	≥ 25 MPa
28 d	≥ 38 MPa	≥ 35 MPa
Resistência de aderência		Resistência à flexão
≥ 0,8 MPa após 28 dias (falha coesiva do substrato)		≥ 7 MPa (28 dias)
EN 1542		DIN EN 12190

Sikadur®-32

Adesivo estrutural à base de resina epóxi, fluido

DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Sikadur®-32 é um adesivo estrutural à base de resina epóxi, de média viscosidade (fluido), bicomponente e de pega normal, especialmente formulado para ancoragens em geral e colagens de concreto velho com concreto novo e chapas metálicas ao concreto. Embora possua consistência fluida, não é autonivelante.

USOS

- Colagem entre concreto velho e concreto novo;
- Fixação de apoios estruturais;
- Ancoragem de cabos;
- Colagem entre elementos pré-moldados;
- Juntas de concretagem (juntas frias);
- Fixação de chumbadores, calhas e guias, na horizontal;
- Reparos em arestas de concreto aparente, trincas e defeitos superficiais.

CARACTERÍSTICAS / VANTAGENS

- Fácil aplicação, fluido, o que permite a aplicação em superfícies horizontais e verticais (exceto fundo de vigas e lajes);
- Endurecimento rápido;
- Excelente aderência a superfícies de concreto, argamassa, madeira, cimento-amianto, pedras, cerâmicas, diversos tipos de metais e outros materiais de construção;
- Impermeável;
- Elevadas resistências mecânicas à tração e compressão;
- Excelente resistência a óleos, graxas e outras substâncias químicas.

DADOS DO PRODUTO

Forma / Aspecto	Embalagem
Cinza claro, média viscosidade	Caixa com 6 latas com 1 kg cada (A+B)

ESTOCAGEM

Validade e condições de armazenamento

24 meses a partir da data de produção, se estocado apropriadamente nas embalagens originais e intactas, em temperaturas entre +5 °C e +35 °C, protegido do gelo e da ação direta do sol.

DADOS TÉCNICOS

Composição básica	Densidade (23 °C)	Razão de mistura
Resina epóxi	~1,50 kg/L (A+B)	A : B = 2 : 1 (em peso)
Temperatura de aplicação	Temperatura de serviço	Resistência à flexão
Mín. +10 °C/Máx. +30 °C	Mín. +10 °C/Máx. +60 °C	7 dias: ~ 50 MPa ASTM C 580
Resistência à compressão		
1 dia:	60 MPa (23 °C; 50% UR)	ASTM D 695
7 dias:	80 MPa (23 °C; 50% UR)	
Resistência de aderência		
Concreto:	18,4 MPa (14 dias)	ASTM C 882
Concreto:	3,80 MPa (7 dias) - falha no concreto	Pull Off Test
Aço:	~ 12 MPa (3 dias)	Pull Off Test
Cura inicial	Cura final	Tempo de manuseio
24 horas	7 dias	Pot-life (1 kg): 45 minutos (23 °C)

Resistência ao arrancamento

Força de arrancamento de barra de ancoragem em concreto classe H25 (Fe A63 - 42H, Ø 12 mm, L=180 mm): > 14.000 kgf.

Sikadur®-330

Resina epóxi bicomponente para impregnação

DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Sikadur®-330 é um adesivo estrutural à base de resina epóxi, bicomponente para impregnação e colagem de tecido de fibras de carbono Sika® Wrap®.

USOS

- Resina de impregnação de tecidos da linha Sika® Wrap® pelo método de aplicação seca;
- Resina impregnante para o sistema de aplicação úmida;
- Adesivo estrutural para colagem de lâminas Sika® CarboDur® S em superfícies planas.

CARACTERÍSTICAS / VANTAGENS

- Fácil de misturar e aplicar com desempenadeira ou rolo;
- Próprio para aplicação manual;
- Excelente para aplicação em superfícies verticais ou sobrecabeça;
- Excelente aderência a diversos substratos;
- Elevadas resistências mecânicas;
- Não requer *primer*.

TESTES

Aprovações / Normas

Atende aos seguintes requisitos:

- Avis Technique N° 3/10-669 (substitui N° 3/07-502) Sika® CarboDur® S, Sika® Wrap®.
- SOCOTEC (França): Cahier des charges Sika® CarboDur® S, Sika® Wrap®.
- Road and Bridges Research Institute (Polónia): IBDIM N° AT/2003-04-336.

Testado conforme a norma EN 1504-4.

DADOS DO PRODUTO

Aparência / Cor

Parte A: Branco

Parte B: Cinza

Cor da mistura: Cinza claro

Aspecto da mistura: Pastosa

Embalagem

Conjunto com 5 kg (A+B)

ESTOCAGEM

Validade e condições de armazenamento

24 meses a partir da data de fabricação, se estocado apropriadamente em embalagem original e intacta, em temperatura entre +5 °C e +25 °C, protegido do gelo e da ação direta do sol.

DADOS TÉCNICOS

Composição básica

Resina epóxi

Densidade (a +23 °C)

1,30 kg/L (+ 0,1) kg/L (referente à mistura A+B)

Temperatura de serviço

-40 °C a +45 °C

Coefficiente de expansão térmica

$4,5 \times 10^{-5} \times ^\circ\text{C}^{-1}$ (faixa de temperatura de -10 °C a +40 °C)

Viscosidade

Taxa de cisalhamento: 50 / s

Temperatura

+10 °C

+23 °C

+35 °C

Viscosidade

~ 10.000 mPas

~ 6.000 mPas

~ 5.000 mPas

Estabilidade térmica**Temperatura de desvio do calor (TDC) (ASTM-D 648)**

Tempo de cura	Temperatura	TDC*
7 dias	+10 °C	+36 °C
7 dias	+23 °C	+47 °C
7 dias	+35 °C	+53 °C
7 dias a +10 °C mais 7 dias a +23 °C	-	+43 °C

*Temperatura de Deformação por Calor.

Resistência à tração

30 MPa (7 dias a +23 °C) (DIN 53455)

Alongamento na ruptura

0,9% (7 dias a +23 °C) (DIN 53455)

Resistência de aderência

Falha no concreto (> 4 MPa) em substrato jateado com areia, com idade superior a 1 dia (EN 24624)

Módulo de elasticidade**Na flexão:** 3800 MPa (7 dias a +23 °C) (DIN 53452)**Na tração:** 4500 MPa (7 dias a +23 °C) (DIN 53455)**Resistência química**

Produto não adequado para exposição a produtos químicos

Resistência térmica

Exposição contínua: +45 °C