

TT32

**REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO**

**GILBERTO COURI**

ENGENHEIRO CIVIL (PUC/RJ), MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA (PUC/RJ), DOUTORADO EM ENGENHARIA (COPPE/UFRJ). PROFESSOR TITULAR NA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE; CONSTRUTOR E CONSULTOR TÉCNICO

**GUILHERME ADIB COURI**

ENGENHEIRO CIVIL (UNLV/EUA), MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA (UFF/RJ), DOUTORANDO EM ENGENHARIA (UFF/RJ); CONSULTOR SENIOR DA ERNST&YOUNG NA ÁREA DE FUSÕES E AQUISIÇÕES.

**CLARISSA DE ALCANTARA COURI**

ENGENHEIRA CIVIL (PUC-RJ), MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL (PUC-RJ), MBA EM AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA (UFF); ATUOU EM PROJETOS ESTRUTURAIS NA CERNA PROJETOS; ATUA COMO ENGENHEIRA NA OI TELEMAR NORTE LESTE.

## **XIV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS. IBAPE/BA**

### **NATUREZA DO TRABALHO: PROFISSIONAL**

### **REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO**

#### **Resumo**

*Trata-se da solução de um problema de excesso de carga em estrutura existente e estável, a ser carregada por uma carga pontual muito alta sobre uma das lajes, o que provocaria a falência estrutural localizada. O usuário, prevenindo eventuais problemas e futuras demandas judiciais, investiu numa análise prévia da estabilidade estrutural, promovendo o reforço indicado pelo laudo apresentado, o que propiciou a realização das obras e a colocação da aparelhagem de ressonância magnética sem afetar a segurança estrutural.*

**PALAVRAS CHAVE: Patologia – Reforço Estrutural – Compósito de Fibra de Carbono**

---

## INTRODUÇÃO

Uma clínica radiológica em fase de expansão decidiu adquirir aparelhagem de ressonância magnética, que uma vez instalada, transmitiria uma carga de mais de seis toneladas de forma concentrada sobre uma das lajes da edificação.

A análise da estrutura indicou que uma falência estrutural localizada, tanto da laje quanto da viga adjacente, que a sustentava, deveria ocorrer tão logo a carga atuasse.

Feita a análise e a verificação de segurança estrutural da região a ser afetada, decidiu-se pelo reforço da estrutura.

Das alternativas possíveis, foram analisadas as seguintes hipóteses: reforço inferior com chapas de aço coladas, reforço superior com perfis metálicos sobrepostos e reforço inferior com compósitos em fibra de carbono.

Analisados os prós e contras de cada solução, optou-se por se fazer o reforço através do uso de fibras de carbono, associadas a um espessamento da laje e aumento da altura da viga, de modo a garantir a segurança estrutural individual de cada peça e do conjunto estrutural, como um todo.

A variável, tempo de execução do reforço, foi fator determinante para a escolha do sistema de reforço a ser adotado, pois o prazo para recebimento e colocação do equipamento em operação era muito exíguo.

Uma vez analisado o parecer técnico apresentado por laudo de engenharia, os serviços de execução foram iniciados e executados em menos de um dia útil, atendendo aos requisitos de segurança e velocidade exigidos.

## A ESTRUTURA EXISTENTE

A edificação foi construída em concreto armado há cerca de 60 anos.

Sobre as lajes existia um sobre piso em argamassa de cimento e areia, além de piso em tacos de madeira. A espessura total desses materiais era de 8 cm.

Inspecionada a estrutura, não foram identificados quaisquer indícios de carregamentos excessivos ou de deterioração dos materiais, seja por agressões físicas, químicas ou biológicas.

Foi feito um levantamento da resistência do concreto e a determinação da armadura existente.

Para a determinação do valor do  $f_{ck}$  foi utilizado o Método Brasileiro de Penetração de Pinos. Foram analisadas a viga mais afetada e as lajes contíguas.

Apresentamos abaixo o resultado do ensaio:

QUADRO GERAL DE RESULTADOS						
Ponto	1	2	3	4	5	6
Penetração do Pino (mm)	35	32	38	46	35	30
	35	29	38	31	34	29
		20		41		
				35		
Valor Médio (mm)	35	27	38	38	35	30
Resistência Estimada (MPa)	15,5	21,5	13,5	13,5	15,5	19,5

⇒ Resistência média estimada à compressão ( $f_{cj,médio}$ ) = 16,5 MPa

A identificação da armadura da viga foi feita a partir de pequenas janelas, e foi verificada a existência de 4  $\Phi$  12,5 mm para resistir ao momento fletor positivo.

## O EQUIPAMENTO

Um equipamento de ressonância magnética seria instalado num dos conjuntos de salas do terceiro pavimento.

O apoio central do magneto do equipamento transmite carga de 6,2 t sobre suportes de 20 cm X 30 cm.



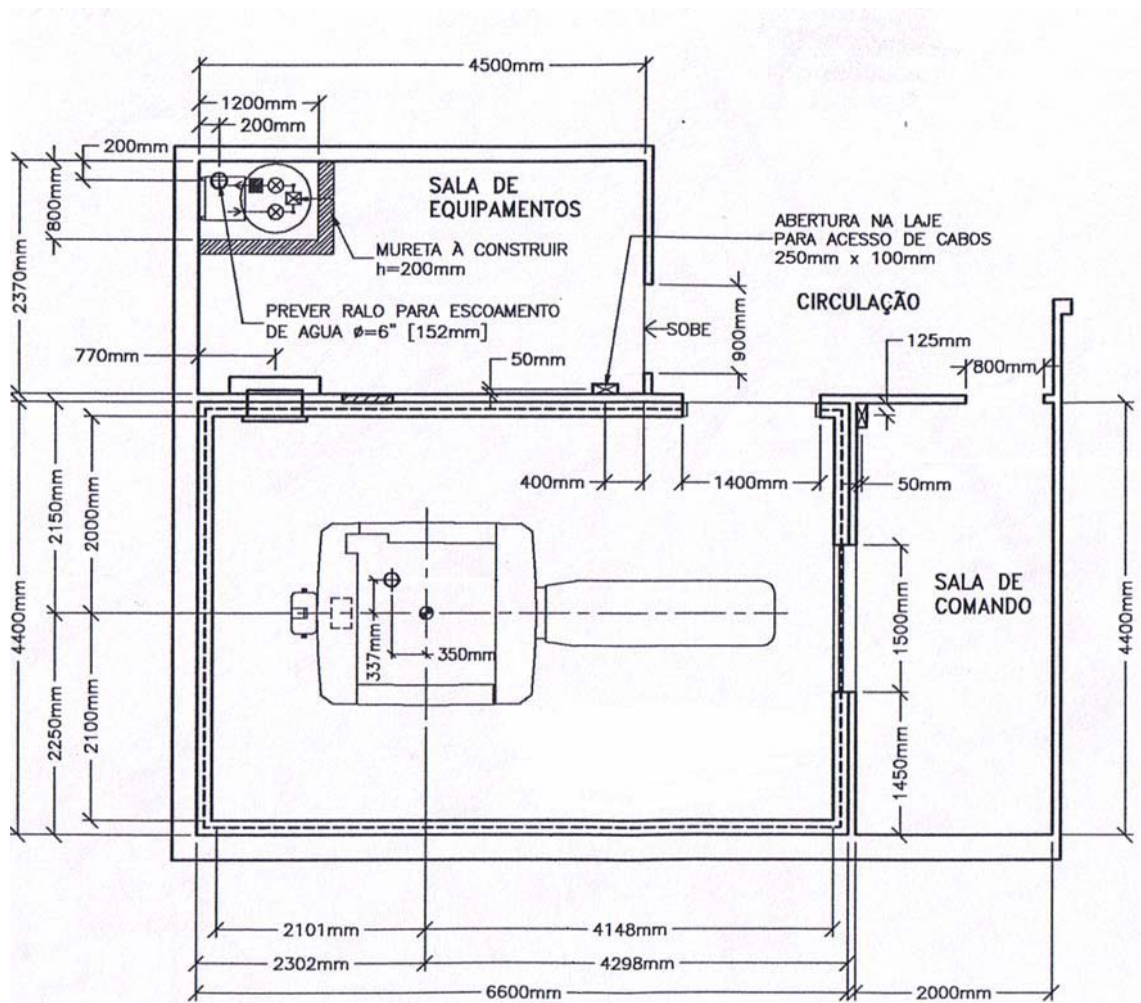
Foto nº 1: Vista do equipamento

## A ANÁLISE DA ESTRUTURA

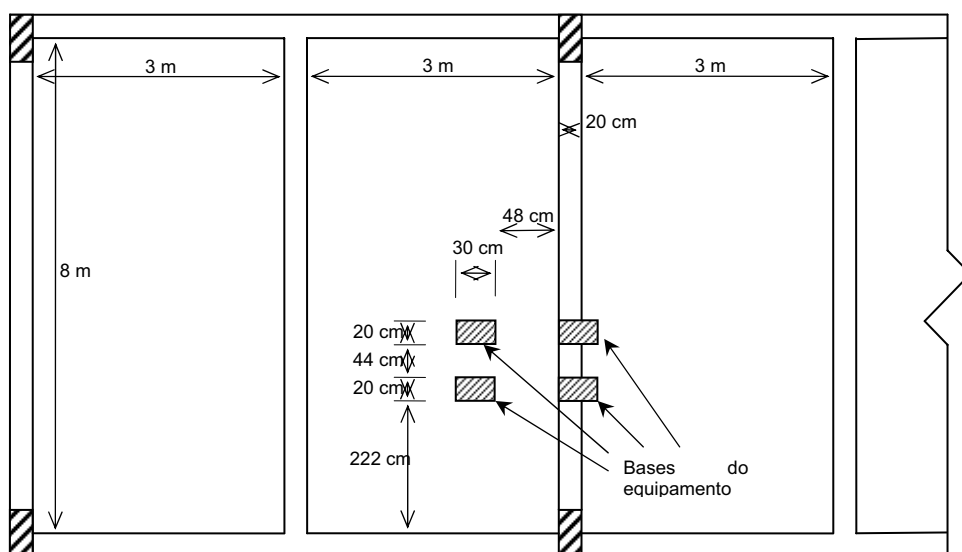
As lajes da edificação são paginadas com 3,0 m de largura e 8,0 m de comprimento, tendo todas 10 cm de espessura. As vigas têm 25 cm de largura por 70 cm de altura.

Inicialmente, para um melhor conhecimento da situação, foi efetuada a completa remoção do acabamento de piso e do sobre piso em argamassa, deixando-se a estrutura em osso.

Apresentamos a seguir um croqui esquemático da situação:



Des nº 1 – Planta de arquitetura esquemática para a colocação do equipamento



Des nº 2 – Planta esquemática da estrutura e das bases do equipamento

## **VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE**

A partir dos dados de carregamento e dos materiais disponíveis foi feita a verificação de estabilidade da estrutura através de meios automáticos, determinando-se quanto de reforço seria necessário se fazer para que a estrutura mantivesse os níveis de segurança normativos.

As alternativas analisadas foram:

- Colocação de estrutura metálica sobre a laje, de modo que o carregamento adicional fosse levado diretamente aos pilares, que teriam capacidade de absorver esse acréscimo de carga;
- Colagem de chapas metálicas que aumentariam as seções de ferragem, aumentando, conseqüentemente a capacidade de carga da estrutura, localizadamente;
- Reforço com compósito de fibra de carbono (CFRP), e adição de sobrecapa de concreto, aumentando as seções das peças estruturais a serem reforçadas.

## **ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS**

Para subsidiar a decisão sobre qual seria o procedimento adequado para a execução dos serviços, foram analisados diversos aspectos: custo, facilidade e prazo de execução dos serviços, aparência final, acessibilidade na utilização do equipamento pós-montagem e facilidade de acesso às peças estruturais a serem reforçadas.

A alternativa de reforço através de perfis metálicos foi descartada, pois exigiria a elevação do piso acabado em 45 cm, impedindo o acesso de cadeiras de rodas, o que prejudicaria enormemente a utilização do equipamento. Também a elevação e manuseio dos perfis metálicos exigiriam muito esforço e custo para levar tais perfis ao interior do local de execução dos serviços.

A alternativa de reforço em chapas coladas, além de exigir incômodos grandes na manipulação do material, demandaria na não utilização do pavimento imediatamente abaixo, por um período não inferior a uma semana, onde funciona uma agência bancária.

Desta forma, foi escolhida a solução em compósito de fibra de carbono como a mais adequada para a situação, pois embora fosse um pouco mais cara (cerca de 18% mais cara que as outras soluções), permitiria uma fácil e rápida execução, minimizando o incômodo ao vizinho do pavimento inferior, e não exigindo qualquer sobre piso.

## **A SOLUÇÃO**

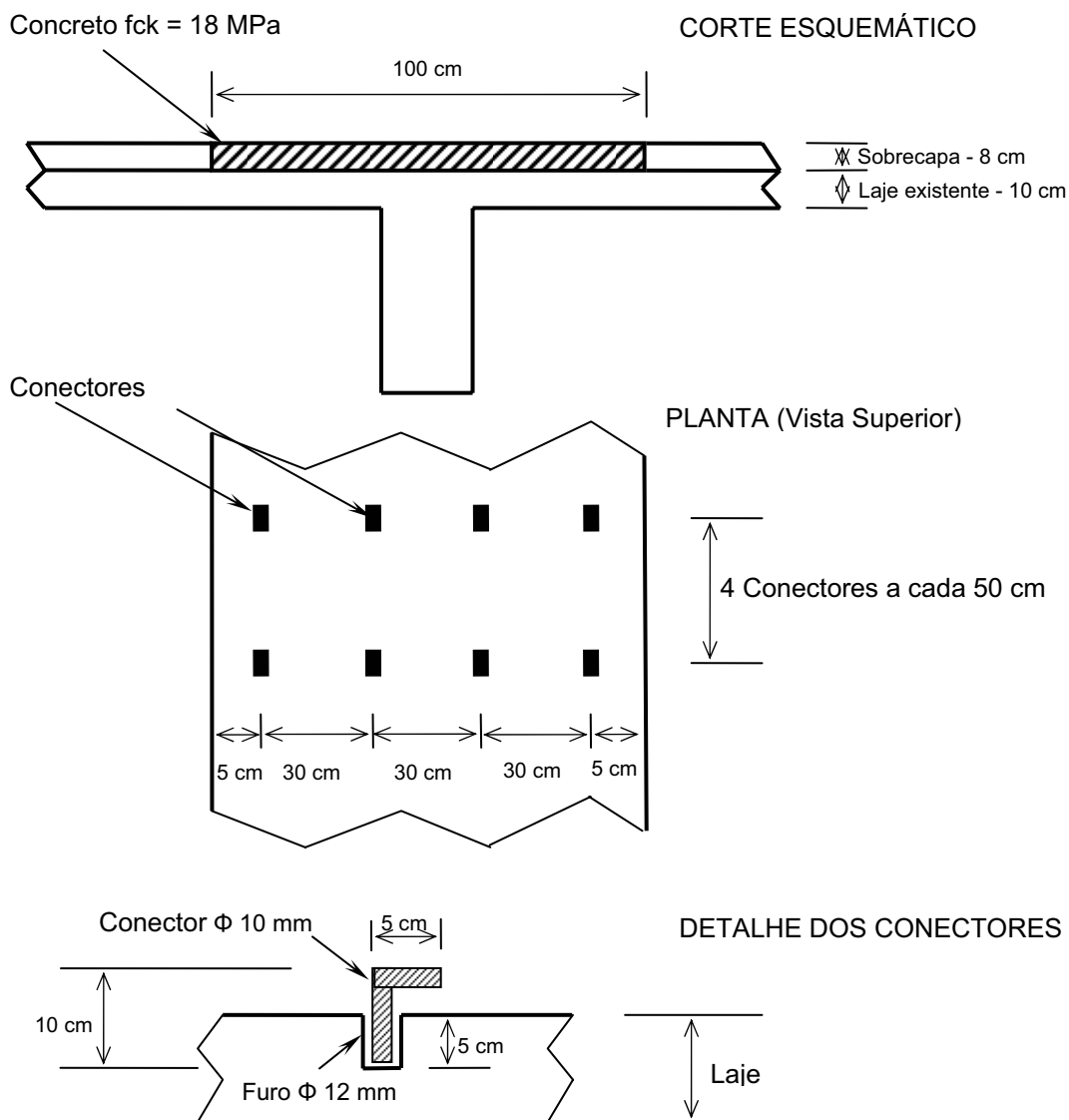
O reforço estrutural projetado é composto de dois procedimentos distintos:

- ❖ Reforço na parte superior da viga por capeamento de concreto interligado por conectores;
- ❖ Reforço na parte inferior através da colocação de fibra de carbono na laje e viga atingidas;

Serão detalhados, a seguir, os procedimentos necessários à recomposição da plena capacidade resistente da estrutura, face ao novo carregamento.

### O REFORÇO ESTRUTURAL NA FACE SUPERIOR DA VIGA

Para aumentar a capacidade resistente da viga, foi colocada uma sobrecapa de concreto à laje numa largura de 1,0m, centrada no eixo da viga, aumentando a altura da viga em 8 cm. A garantia de solidarização do novo concreto com o pré-existente foi efetivada através da cravação de conectores na face superior da laje, fazendo com que a linha neutra da viga ficasse dentro da espessura da mesa, obrigando a viga a funcionar como viga T, conforme croqui abaixo.



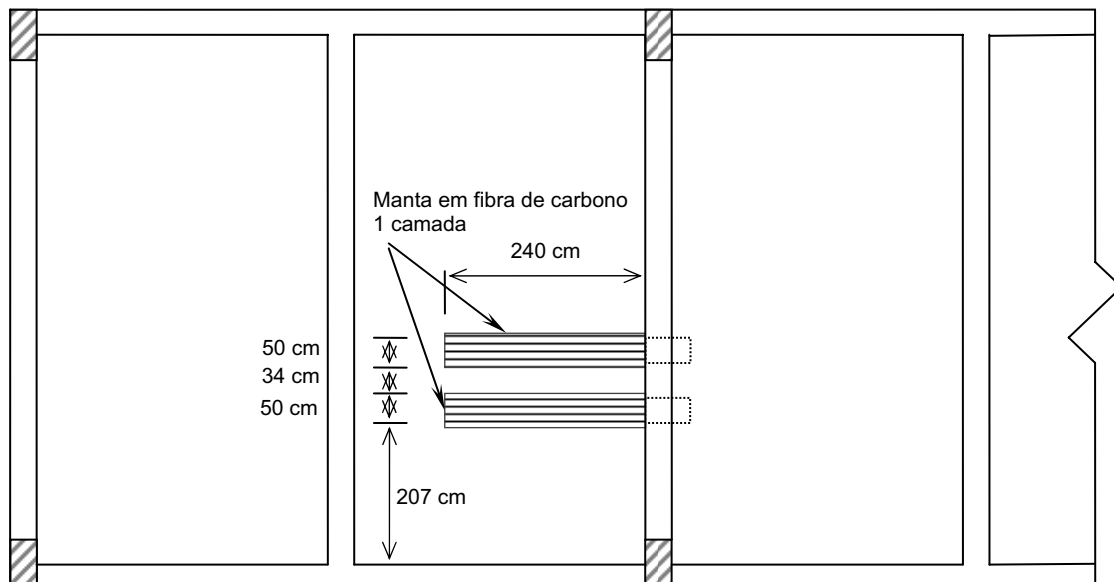
Des nº 3 – Esquema de colocação dos conectores e execução da sobrecapa em concreto



Fotos nº 2 e 3: Vista dos conectores

## O REFORÇO ESTRUTURAL NA FACE INFERIOR DA ESTRUTURA

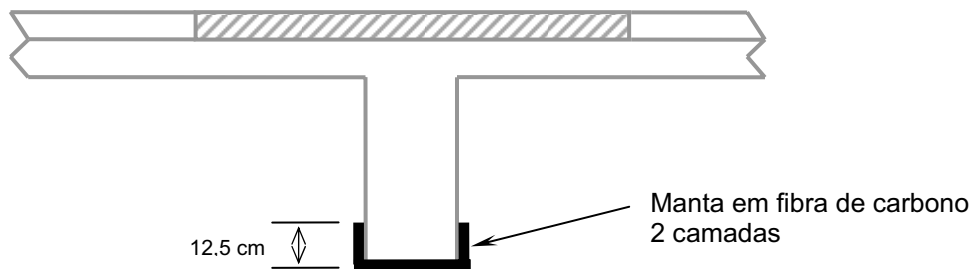
Adicionalmente ao reforço já descrito, foi projetado e executado um reforço em compósito de fibra de carbono (CFRP) na parte inferior da laje e da viga afetadas, conforme detalhes a seguir.



Des nº 4 – Projeto esquemático do reforço da laje com manta em fibra de carbono



CORTE ESQUEMÁTICO



Des nº 5 – Projeto esquemático do reforço da viga com manta em fibra de carbono



Foto nº 4: Vista da viga a ser reforçada



Foto nº 5: Vista da lixadeira para polir a superfície do concreto onde será aplicada a manta de fibra de carbono



Foto nº 6: Vista da viga a ser reforçada após polimento



Foto nº 7: Vista da face inferior da laje, já polida e com a aplicação de primer





Foto nº 9: Rolo de fibra de carbono desenrolado para aplicação da cola



Foto nº 10: Aplicação da cola sobre o concreto polido e já com primer



Foto nº 11: Aplicação da cola sobre a fibra



Foto nº 12: Aplicação da fibra no local





Foto nº 13: Serviço executado com capeamento da fibra de carbono por camada final de cola



Foto nº 14: Equipamento colocado, em fase de acabamento

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O resultado do presente trabalho espelha o que vem se demonstrando cada vez mais: a durabilidade e o desempenho das edificações, e, conseqüentemente, de suas estruturas, é função direta dos cuidados que se tem com sua utilização.

O ponto principal de desgaste e deterioração é o uso indevido, caracterizado primordialmente pelo excesso de carga.

A providência do usuário em contratar a confecção de um laudo técnico prévio de engenharia com o objetivo de verificar eventuais danos que poderiam ser trazidos à edificação pela colocação de um carregamento excessivo e puntual acarretou projeto e obra de reforço estrutural, de modo a aumentar a capacidade de carga para o novo uso da estrutura.

Adicionalmente, novos materiais e novas técnicas executivas estão proporcionando oportunidades de se ter novas opções para solucionar situações que, há bem pouco tempo demandavam grandes custos operacionais e logísticos, causando desconforto, exigindo prazos e interrompendo atividades.

No caso em apreço, todos os serviços de reforço estrutural foram executados em 6 h de trabalho, num domingo, permitindo ao cliente entrar em atividade imediatamente, não exigindo longos períodos de cura de materiais, e com utilização de ferramentas leves e pequenas.

É importante que essas técnicas e esses novos materiais entrem, definitivamente, no leque de opções que nossos profissionais devem analisar antes de decidir por uma solução.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Moreira de Souza, Vicente C. & Ripper, Thomaz – Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto – Pini - 1998.
- NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.
- Couri, Gilberto Adib – Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto – Apostila – Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal Fluminense - 2006
- Paula Machado, Ari – Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono – Pini – 2002.
- Verçozza, Ênio José – Patologia das Edificações – Editora Sabra, 1991