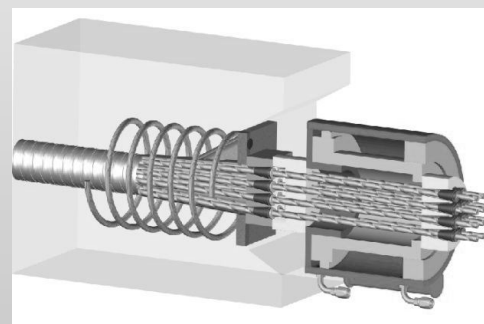




TÉCNICAS ATUAIS DE REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO



Júlio Timerman
IBRACON
Diretor Presidente

- Aspectos a serem considerados na intervenção da Estrutura
- Recuperação x Reforço
- Considerações Gerais para Dimensionamento
- Principais Técnicas:
 - Envelopamento com armadura passiva
 - Reforço com estrutura metálica (chapas ou perfis laminados)
 - Protensão externa
 - Fibras de Carbono
- Estudo de casos:

Aspectos a serem considerados na intervenção da Estrutura

- Degradação excessiva da estrutura;
- Necessidade de manter a estrutura em operação;
- Econômicas;
- Ambientais;
- Tempo de execução;

REFORÇO

Intervenção em uma determinada estrutura, com o objetivo de aumentar sua capacidade portante (resistente) em relação ao projeto original, antes de atingir os seus estados-limites

X

RECUPERAÇÃO

Restabelece as condições de uso e segurança que a estrutura foi concebida e, que por algum motivo, estava deficiente



Considerações Gerais de Dimensionamento

$$S_d \leq R_d$$

Onde:

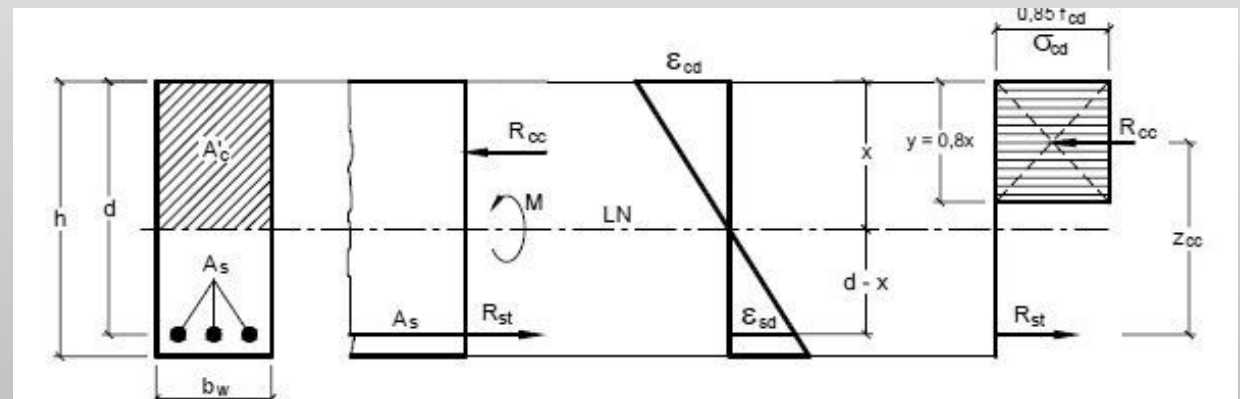
S_d : Solicitações

R_d : Resistência do elemento estrutural

Para equilíbrio: $R_{cd} = R_{sd}$

Reforço: $R_{cd} = R_{sd} + R_{**}$

R_{**} = Características do material de reforço

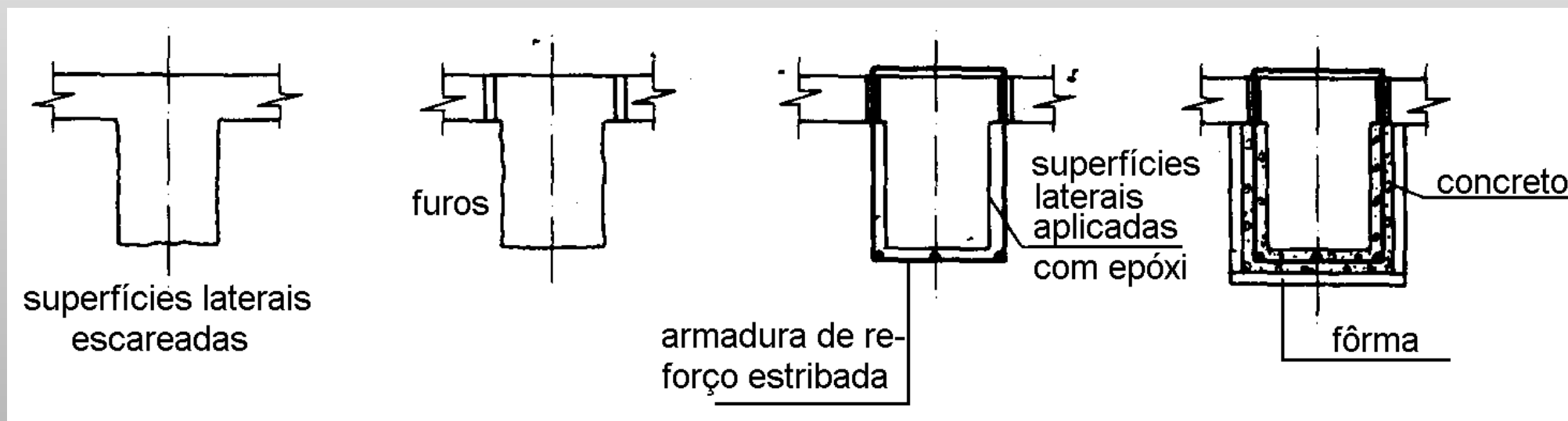


Considerações Gerais de Dimensionamento

- É importante a consideração da condição inicial da instalação do reforço, no que se refere ao carregamento e a deformação pré-existente!!
- O elemento estrutural pode estar totalmente descarregado e, portanto, não haverão deformações unitárias iniciais.
- Por outro lado, quando a peça não puder ser totalmente descarregada, o carregamento remanescente imporá à peça deformações unitárias iniciais, em função dos esforços solicitantes correspondentes. Estas deformações deverão ser levadas em conta no dimensionamento do reforço.

Enchimentos de Concreto, Grautes, Microconcretos e Argamassas

- O reforço de elementos estruturais, especialmente pilares e vigas, com concreto armado, é um sistema muito empregado pelas vantagens que possui, principalmente econômicas, em relação aos outros sistemas de reforço, inclusive o executado com perfis laminados.



Enchimentos de Concreto, Grautes, Microconcretos e Argamassas

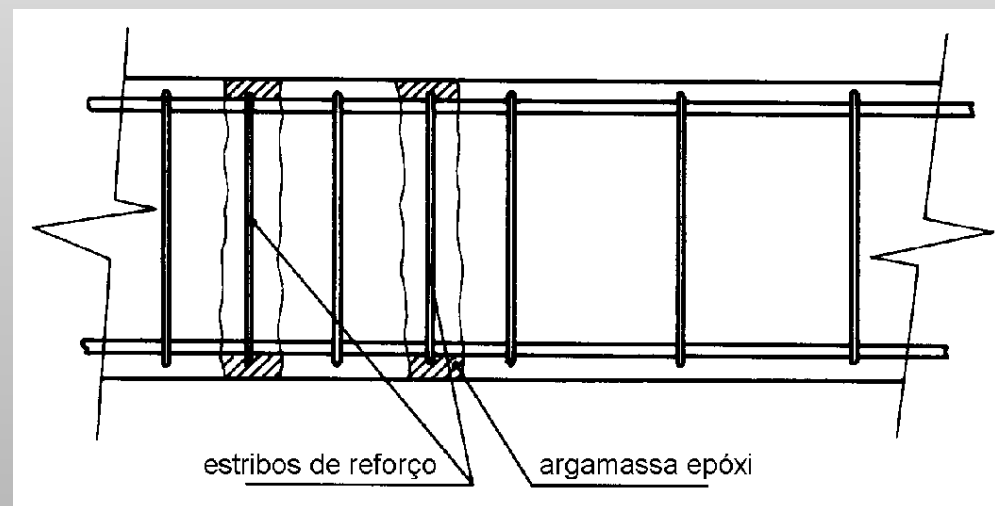
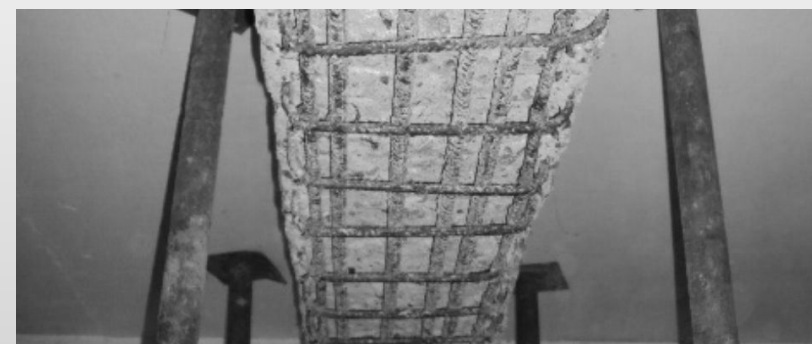
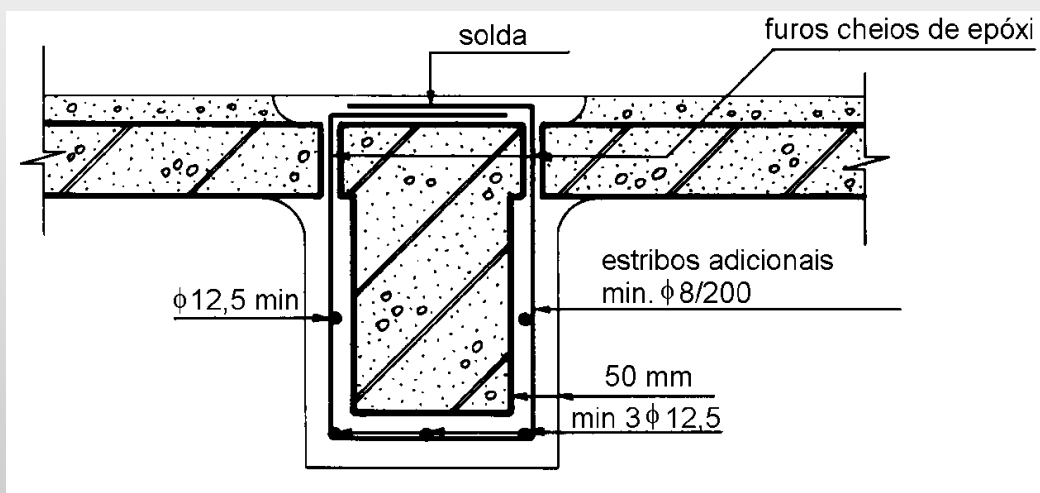
Vantagens:

- Cálculo e materiais mais conhecidos;
- Compatibilização entre os materiais;
- Bom comportamento ao fogo;
- Em geral, menor custo;

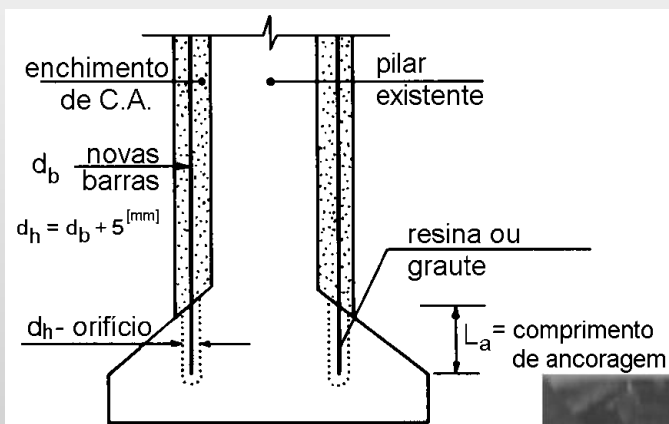
Desvantagens:

- Grandes alterações na geometria dos elementos, interferindo nos ambientes (arquitetura);
- Elevado tempo de execução;
- Produz ruídos e poeira;

Enchimentos de Concreto, Grautes, Microconcretos e Argamassas



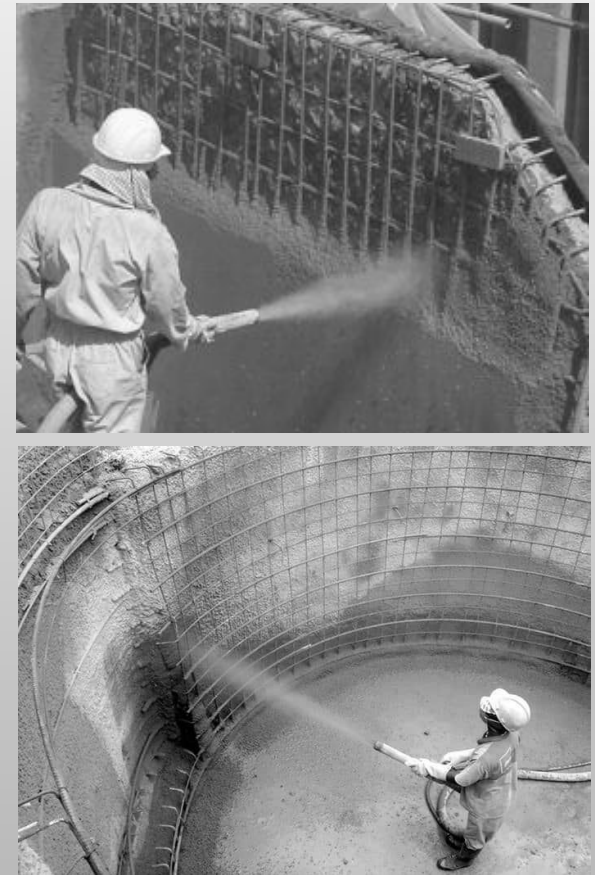
Enchimentos de Concreto, Grautes, Microconcretos e Argamassas



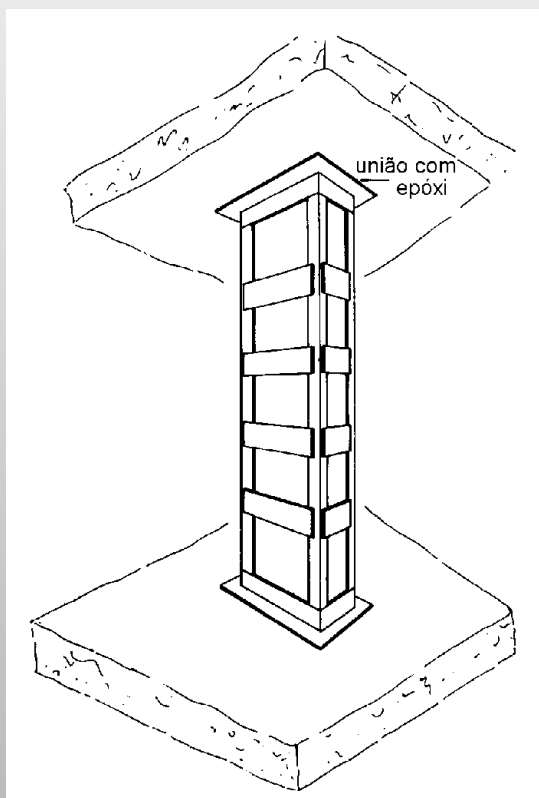
Enchimentos de Concreto, Grautes, Microconcretos e Argamassas

➤ Concreto Projetado

- Permite aplicar concreto sem necessidade de fôrmas.
- Processo contínuo de colocação por meio de projeção do concreto à pressão.
- Muito adequado para a restauração e reparo de grandes superfícies, principalmente quando o cobrimento é inadequado ou foi deteriorado pela ação de algum agente agressivo.
- Útil para a reparação de estruturas que tenham sido submetidas à ação de um incêndio.

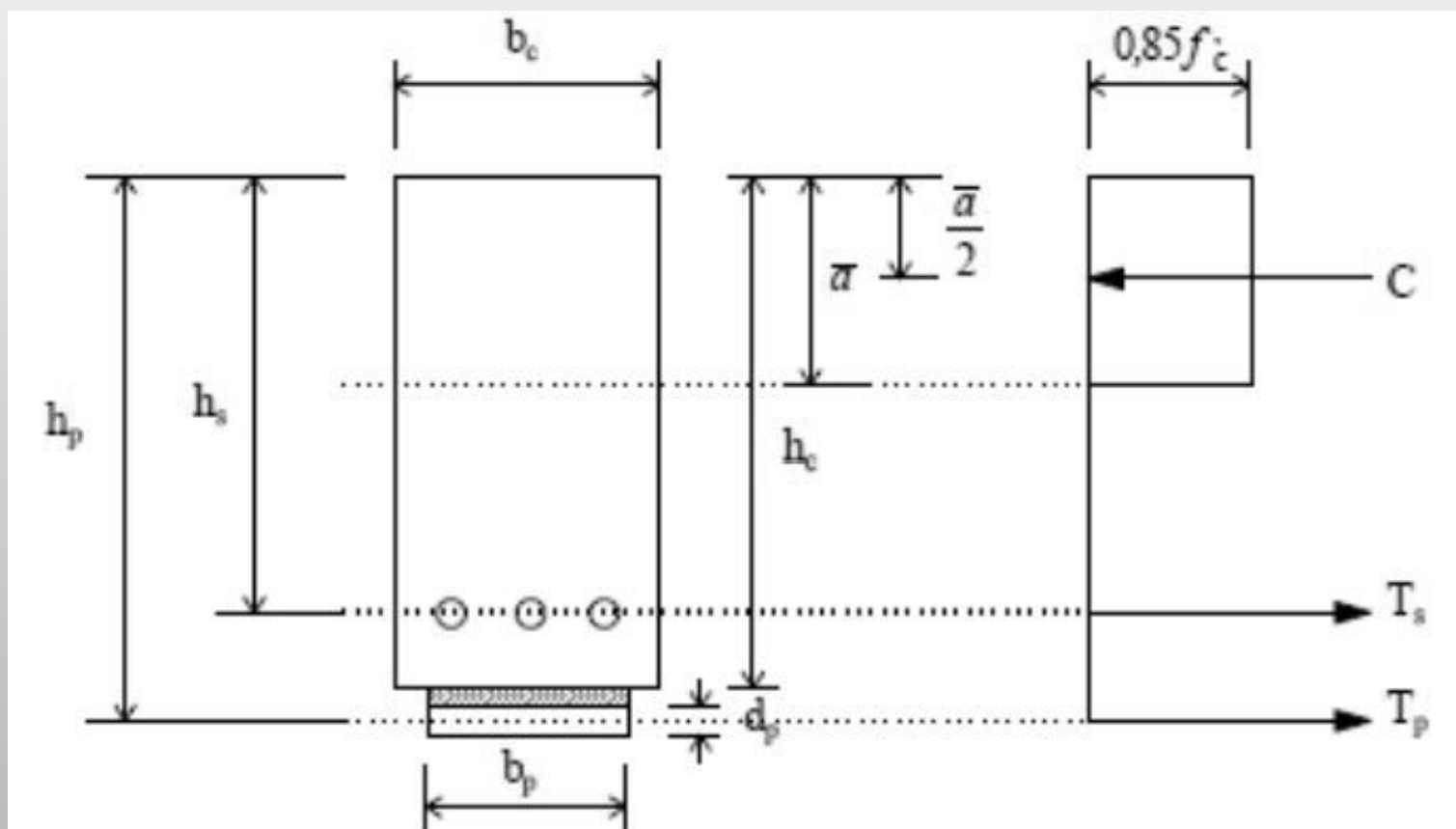


Perfis e Chapas Metálicas

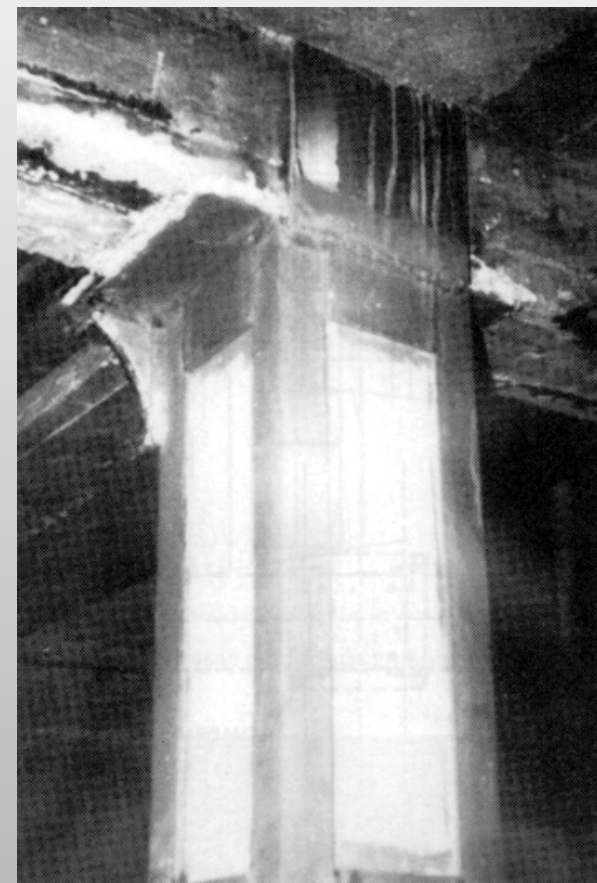
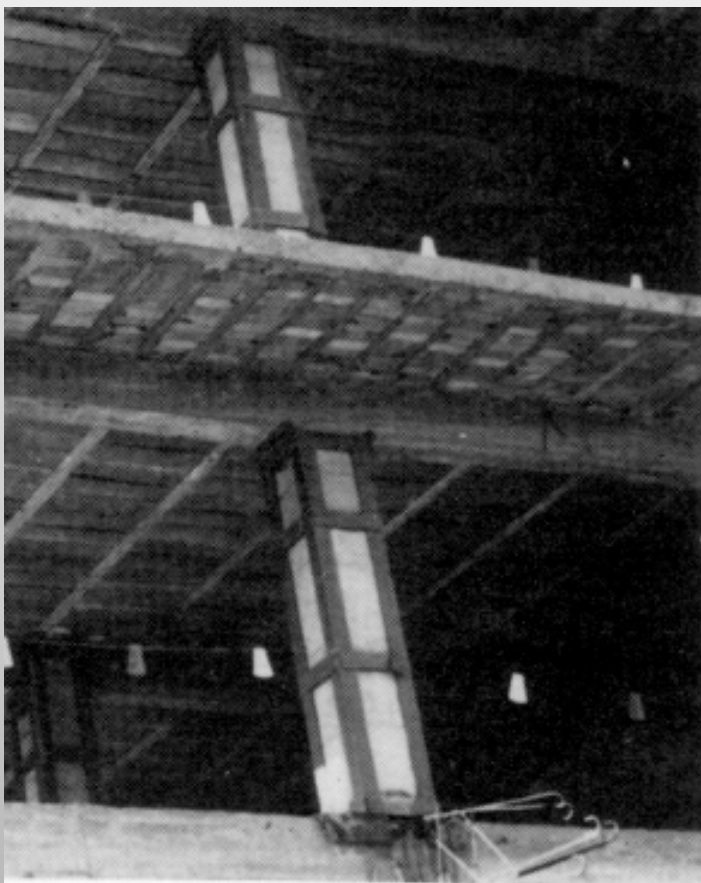
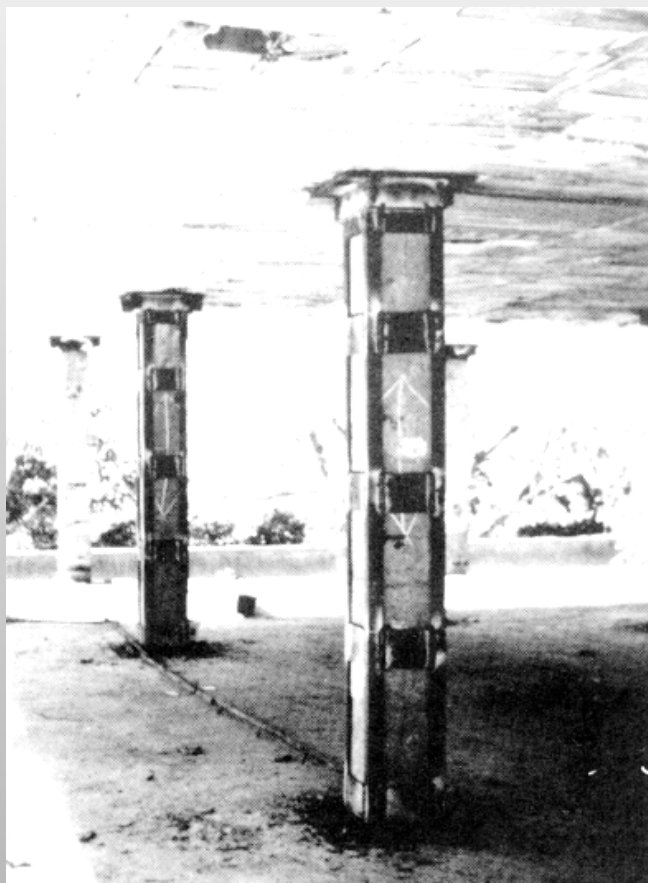


- A técnica do reforço de elementos estruturais mediante perfis laminados de aço tem sido empregada há muito tempo e pode dizer-se que talvez seja uma das mais antigas dentro do campo de reforços. Entretanto, trata-se de uma técnica que tem pouca aceitação como consequência dos fracassos que se têm produzido, que são mais devidos à falta de cuidados com a qual foi aplicada em algumas ocasiões.
- Esta falta de atenção faz com que os reforços não trabalhem nas condições para as quais foram projetados

Perfis e Chapas Metálicas



Perfis e Chapas Metálicas



Perfis e Chapas Metálicas

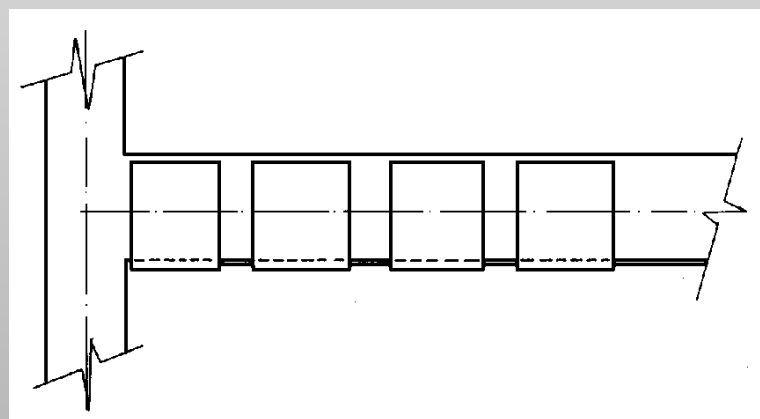
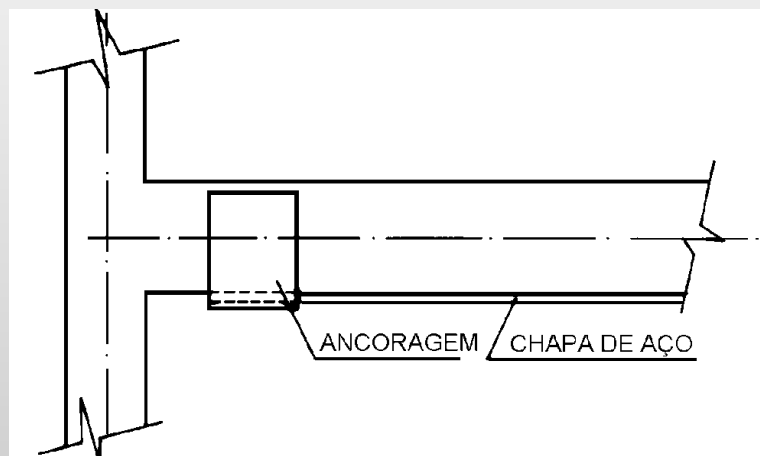
Vantagens:

- Baixa alteração na geometria dos elementos (arquitetura);
- Reduzido tempo de execução e intervenção;
- Redução de ruídos e poeira quando comparado com envelopamento convencional;

Desvantagens:

- Devido a utilização de resinas, baixa resistência a elevadas temperaturas ($>70^{\circ}\text{C}$);
- Necessidade de escoramento e pressão para aplicação da resina/chapa;
- Dependendo da espessura/ dimensões, dificuldade no manuseio devido ao peso próprio;

Perfis e Chapas Metálicas

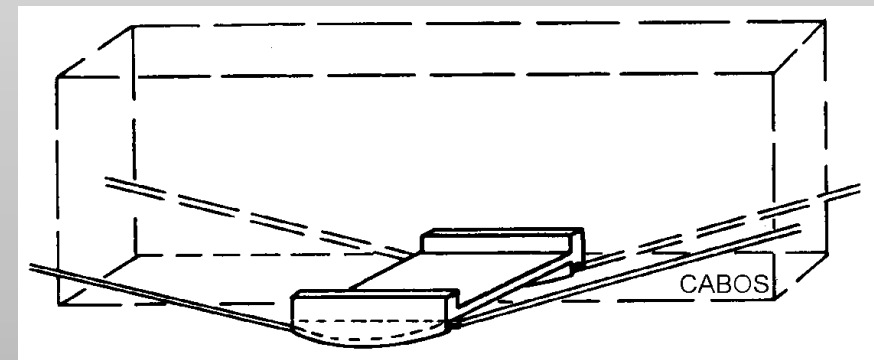
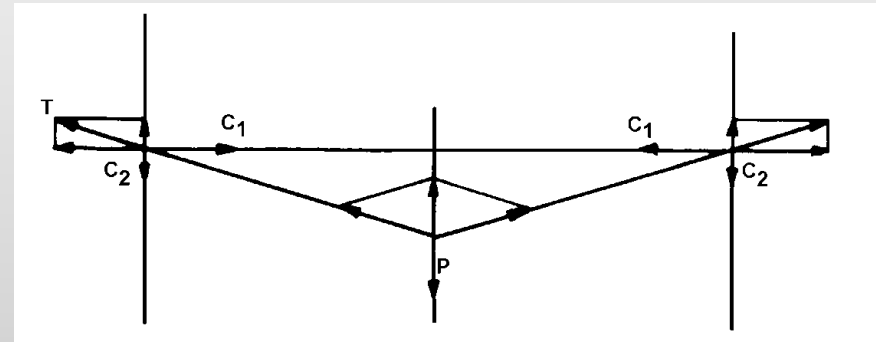


Perfis e Chapas Metálicas

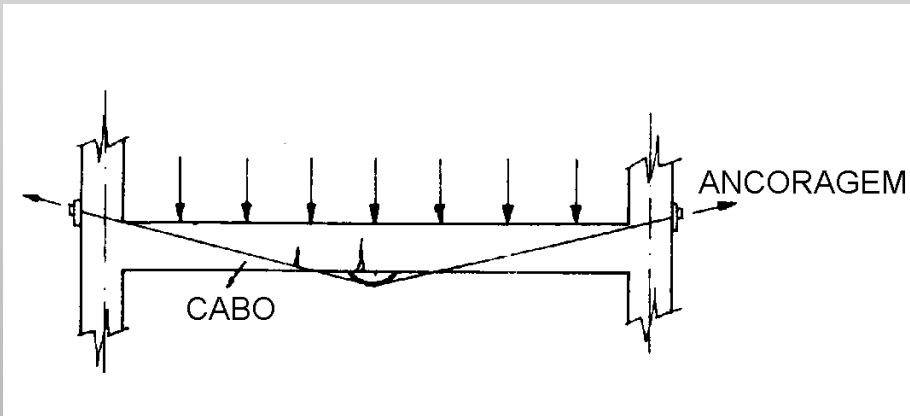
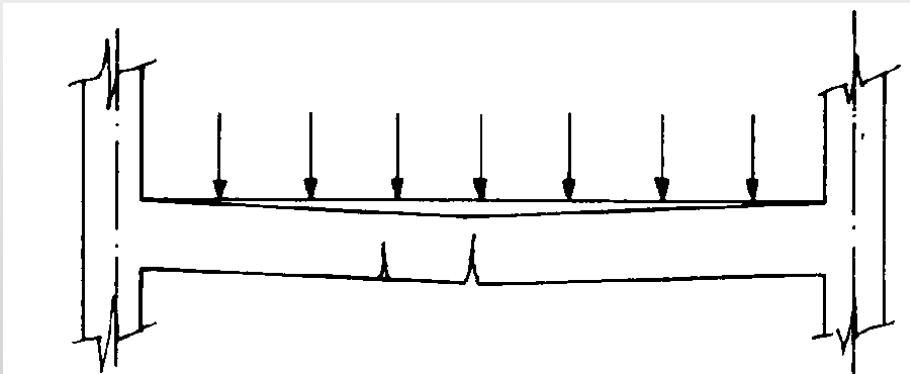


Protensão Externa

- A técnica do protendido na sua modalidade de tensionado a *posteriori* encontra no reforço de estruturas uma acolhida muito forte, especialmente nos casos em que se chegou a uma situação grave de debilidade estrutural. Essa técnica permite, ainda, através do emprego de elementos auxiliares, mais ou menos sofisticados, chegar a resolver problemas que não teriam solução através de outro sistema de reforço.



Protensão Externa



- Freyssinet definia a protensão de um elemento estrutural como a operação de “submetê-lo, antes de aplicar as cargas, a forças adicionais que produzem tensões tais que, ao compor-se com as que provêm das cargas, dando em todos os pontos resultantes inferiores às tensões limites que os materiais podem suportar indefinidamente sem alteração”.

Protensão Externa

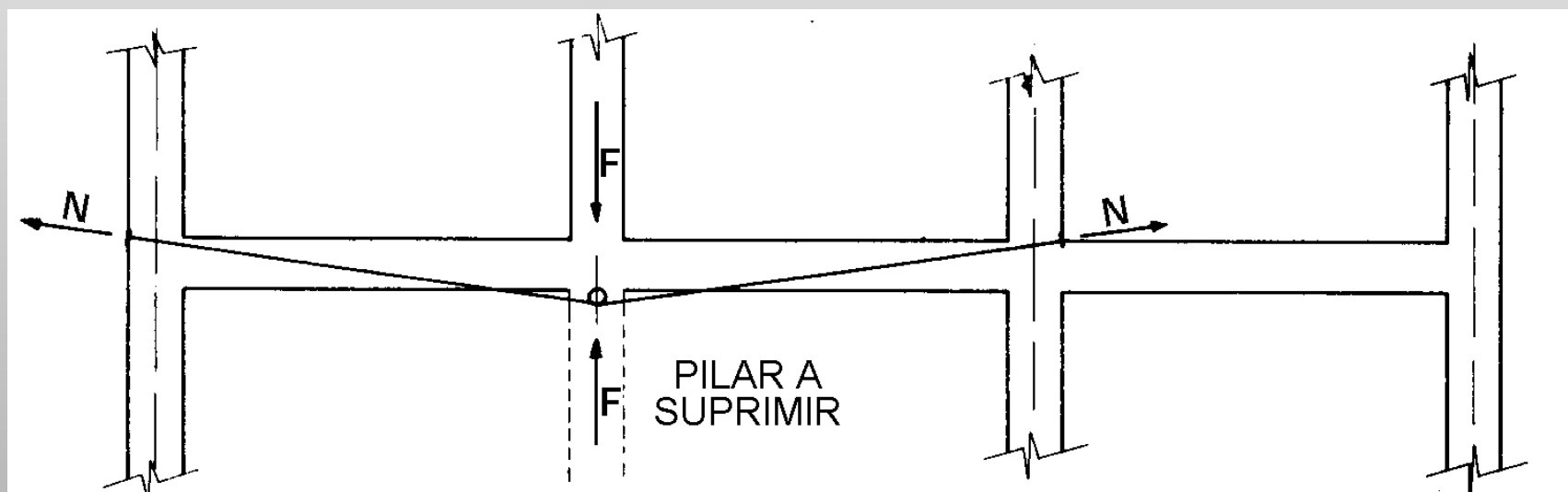
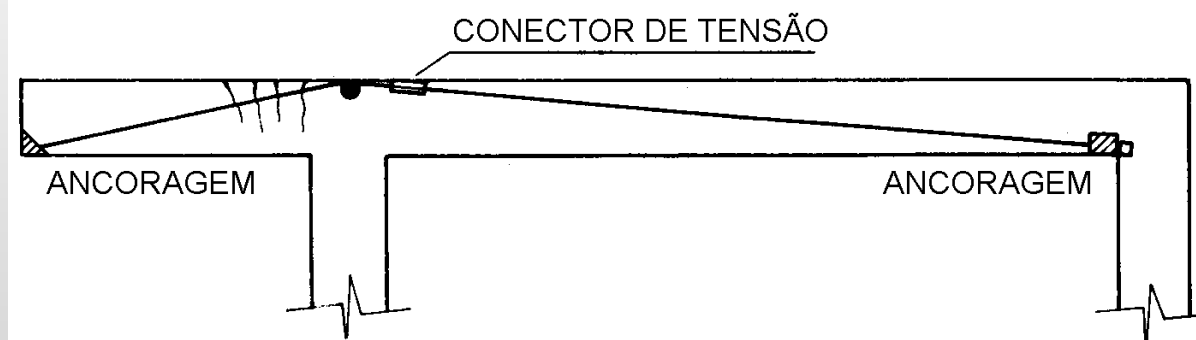
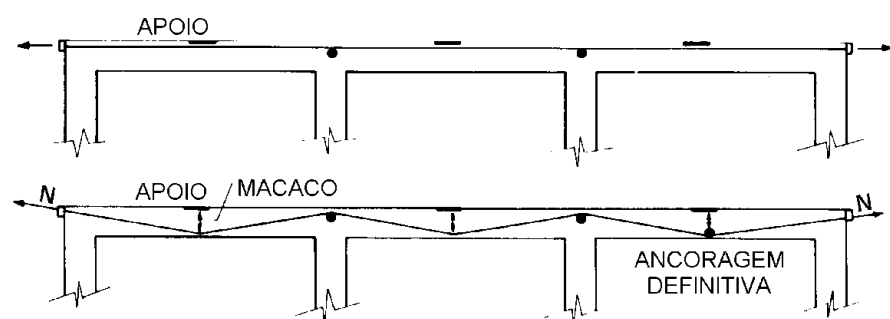
Vantagens:

- Possibilidade de substituição futura, monitoramento e re-protensão;
- Baixa alteração no elemento estrutural;
- Sem necessidade de escoramento;
- Possibilita o retorno na posição indeformada (contra flecha).

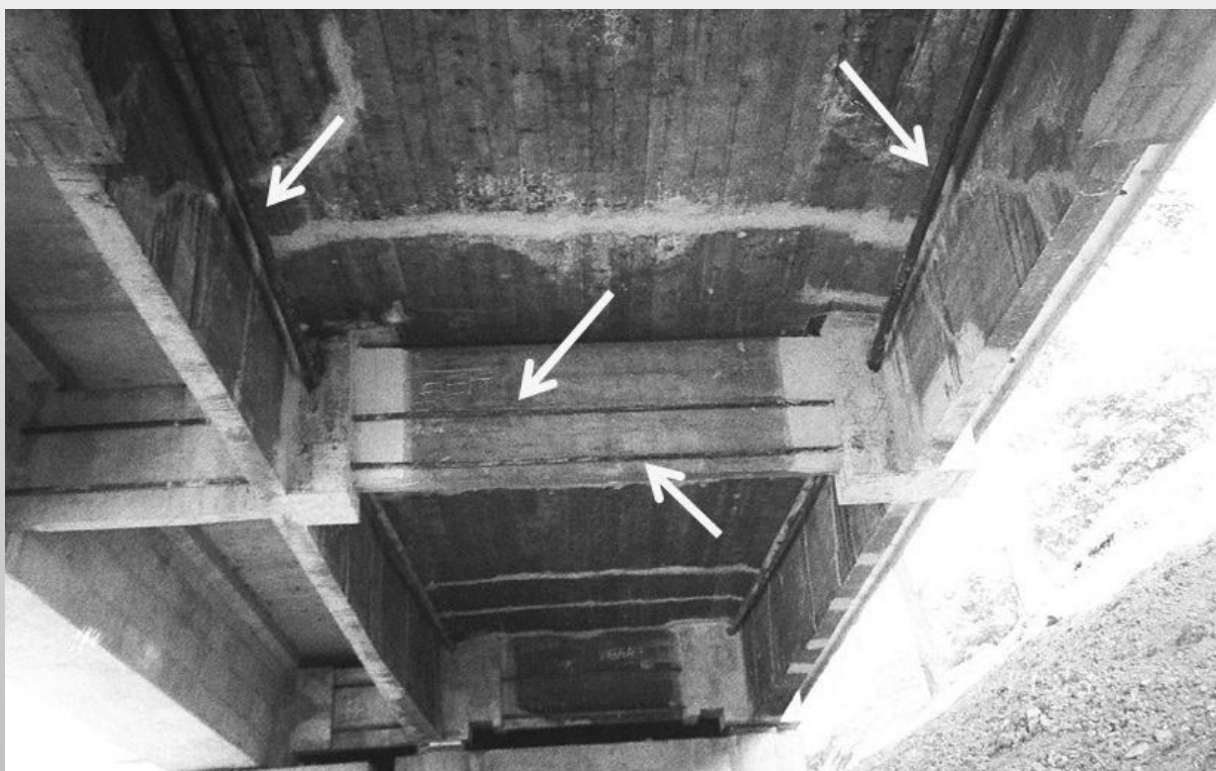
Desvantagens:

- Necessidade de proteção adicional contra corrosão;
- Baixa resistência a impactos e a atos de vandalismo;
- Custo normalmente superior as outras técnicas;
- Mão de obra especializada (dimensionamento e execução);

Protensão Externa

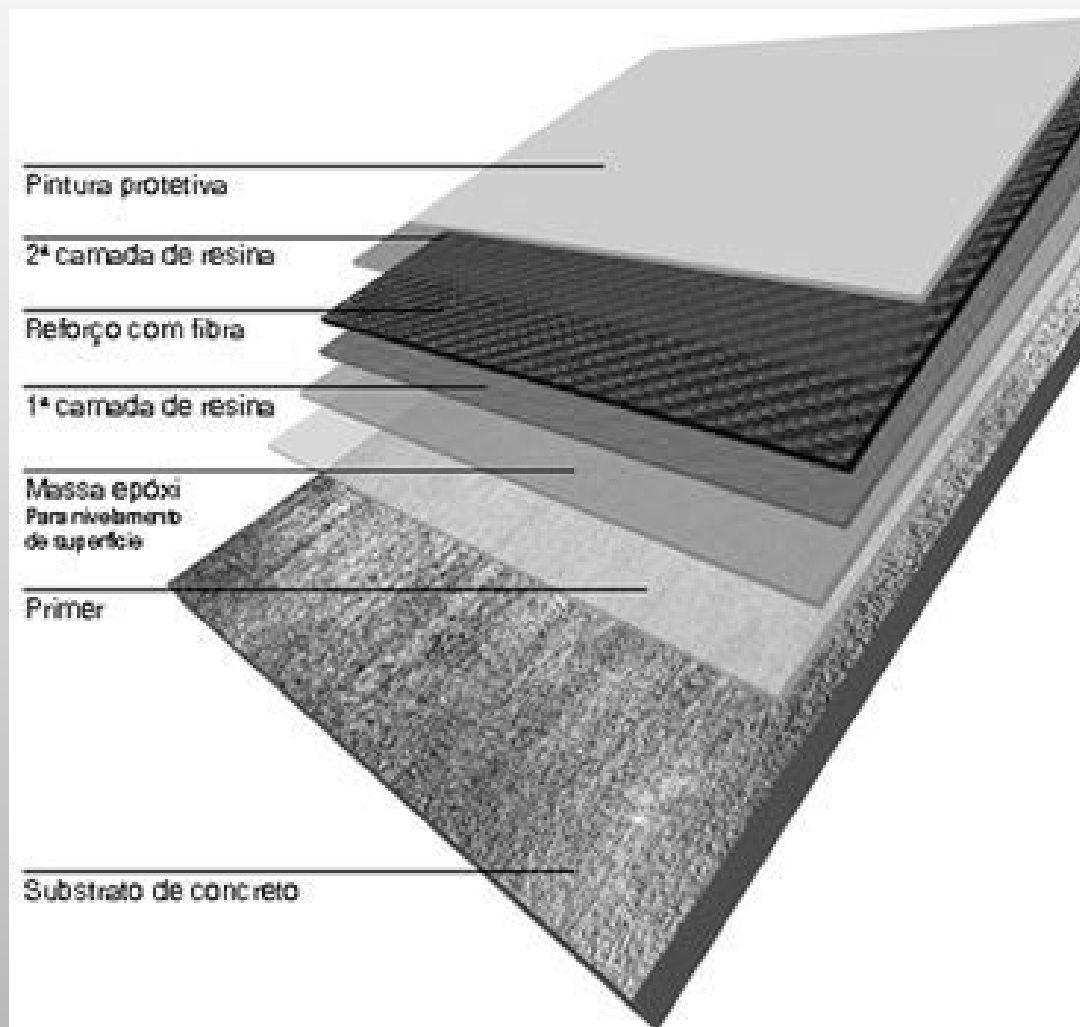


Protensão Externa



Compósito de Fibra de Carbono

- Fabricação: Subproduto de materiais com base em poliacrilonitril, oriundo da indústria de refinação, oxidado a 1500º C.
- Resultado: Material com base em carbono, em forma de fibra, na qual os átomos de carbono ficam perfeitamente alinhados ao longo da fibra. Este alinhamento é que dá a elevada resistência à tração da fibra de carbono



Compósito de Fibra de Carbono



Propriedades Físicas da Fibra de Carbono (exemplo)

- Peso: 300 g/m^2
- Espessura: $0,172 \text{ mm}$
- Resistência à tração: 35500 kgf/m^2
- Módulo de elasticidade: 2350000 kgf/m^2
- Densidade: $1,82 \text{ g/cm}^3$
- Alongamento máximo: $1,5\%$

Compósito de Fibra de Carbono

Vantagens da Fibra de Carbono

- **Leveza:** Adiciona um mínimo de carga permanente.
- **Não-corrosiva:** Grande durabilidade, pouca manutenção.
- **Rapidez na instalação:** Custo menor, tempo de parada reduzido.
- **Espessura reduzida:** Nenhum engrossamento de peças, facilmente dissimulado.
- **Flexibilidade:** Adapta-se à várias formas.
- **Tecnologia testada e comprovada.**



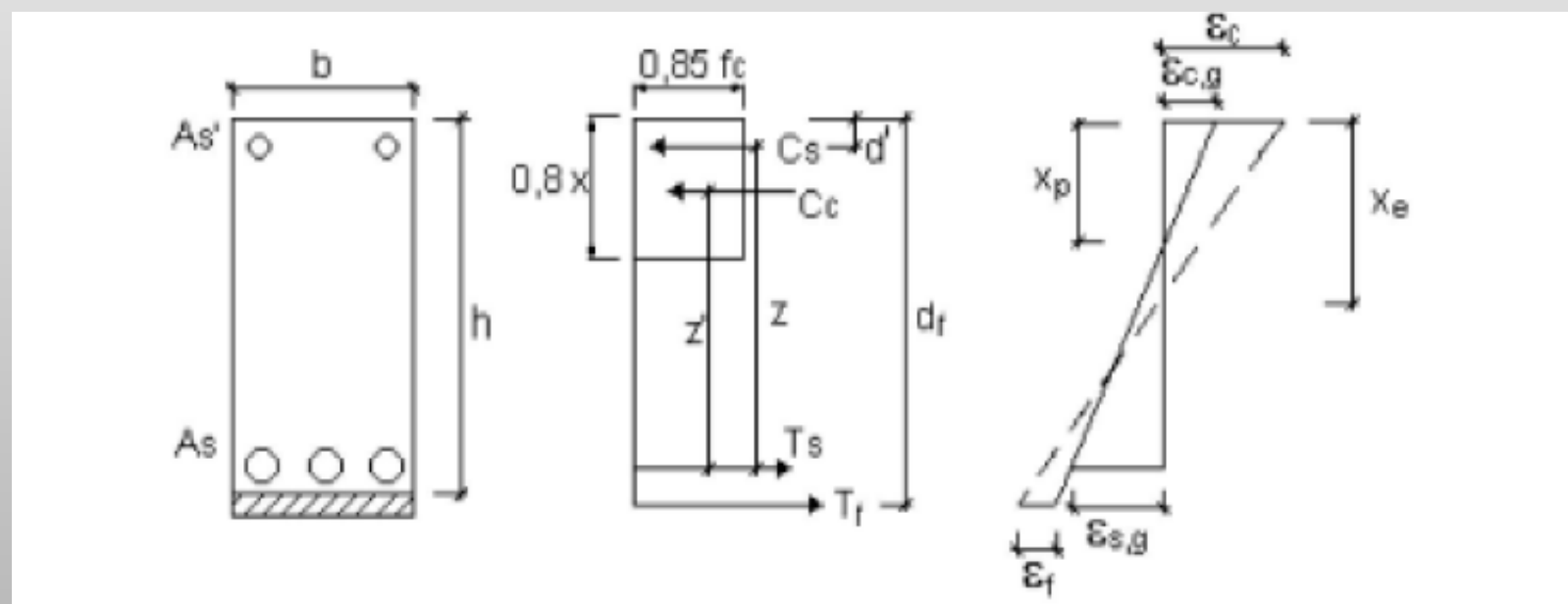
Compósito de Fibra de Carbono

Desvantagens:

- Devido a utilização de resinas, baixa resistência a elevadas temperaturas ($>70^{\circ}\text{C}$)
- Custo, em geral, mais alto;
- Falta de conhecimento técnico para a correta utilização e dimensionamento;
- Mão de obra específica;

Compósito de Fibra de Carbono

- Com a imposição de forças adicionais de tração, os princípios mecânicos de equilíbrio de uma seção são similares ao aplicável no dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado.



Conclusão

- Conhecimento dos mecanismos de degradação das estruturas
- Custos de **Reparos** maiores que os da **Prevenção**



- **AÇÕES PREVENTIVAS**

- Especificação Correta de Materiais
- Projeto Estrutural Adequado



- **AUMENTO DA VIDA ÚTIL DA ESTRUTURA**

Estudos de Caso

- Museu do Futebol – Estádio do Pacaembu – São Paulo



O PROJETO ESTRUTURAL
DESENVOLVIDO (2006-2008)
CONSISTIU NUMA INTERVENÇÃO
NAS DEPENDÊNCIAS DO ESTÁDIO
MUNICIPAL DO PACAEMBU NO
SENTIDO DE ATENDER AS
NECESSIDADES DO MUSEU

Estudos de Caso – Museus do Futebol

Nome: Estádio Municipal Paulo Machado de Carvalho

Apelido: Pacaembu (terras alagadas em Tupi)

Construção: 17 de setembro de 1938 à 1940

Inauguração: 27 de abril de 1940

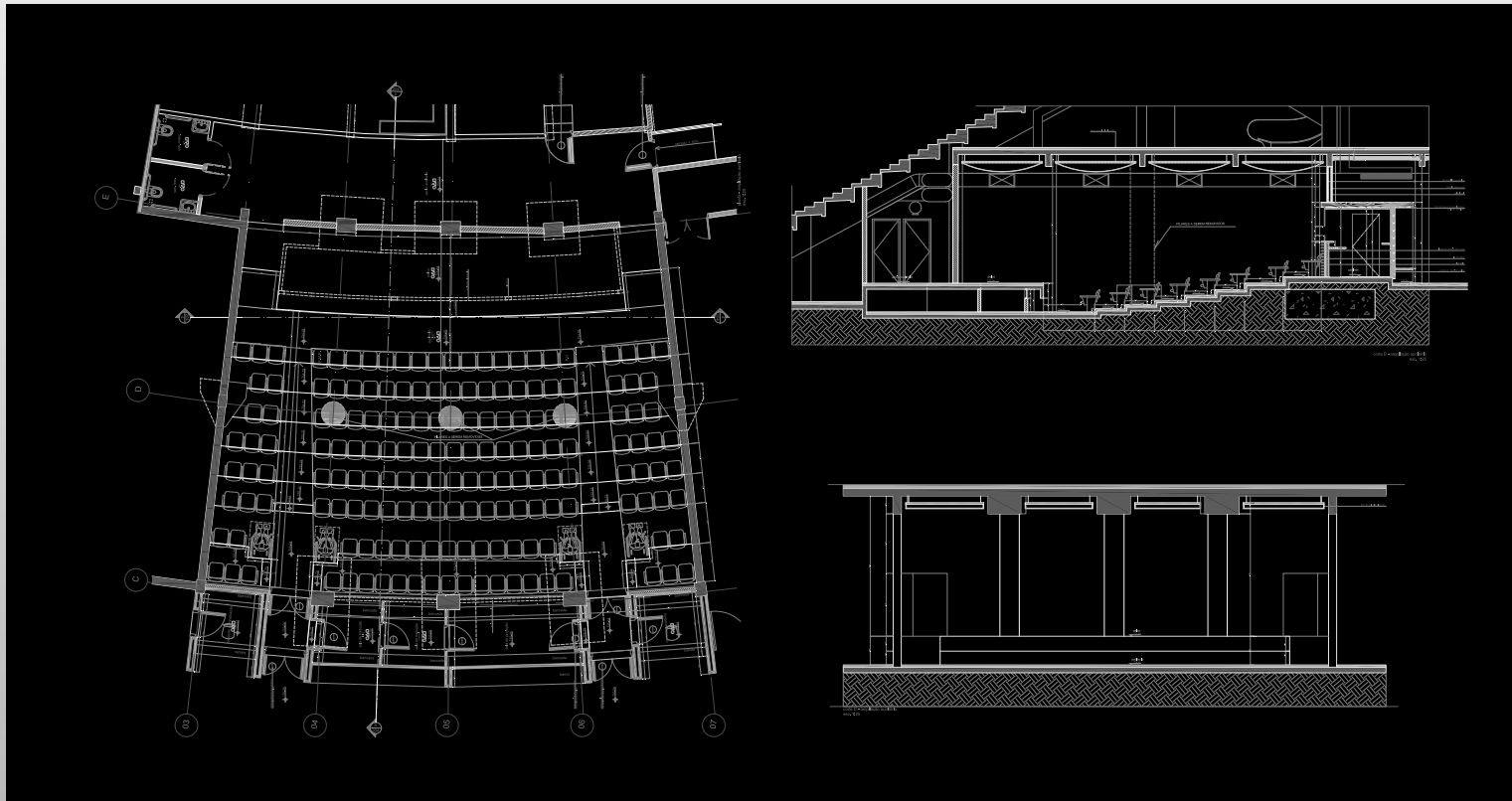
Remodelado: 2007

Expandido: 1958 e 1970



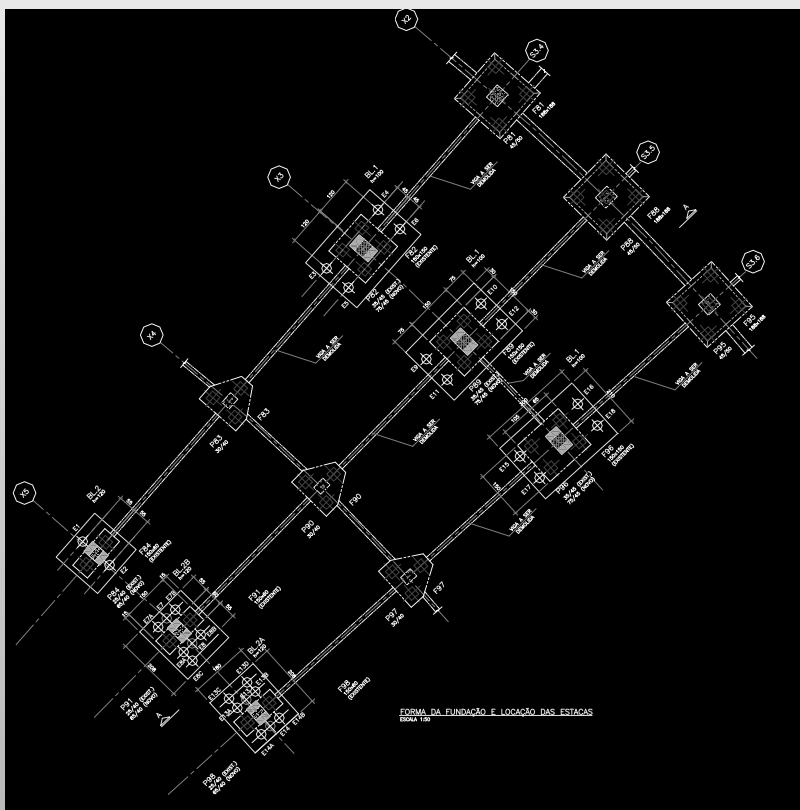
Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Eliminação de pilares para viabilizar a implantação de auditório



Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Reforço das fundações e pilares adjacentes



Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Reforço das fundações e pilares adjacentes



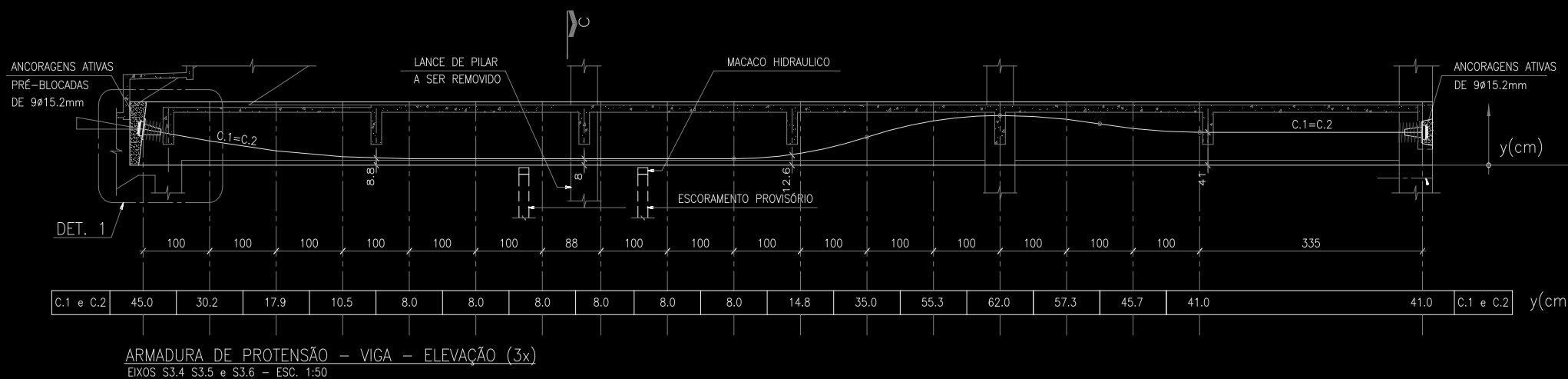
Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Reforço das fundações e pilares adjacentes



Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Reforço da viga com protensão



Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Reforço da viga com protensão



Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Reforço da viga com protensão



Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Reforço da viga com protensão



Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Reforço com perfil metálico



Estudos de Caso – Museu do Futebol:

- Reforço com perfil metálico

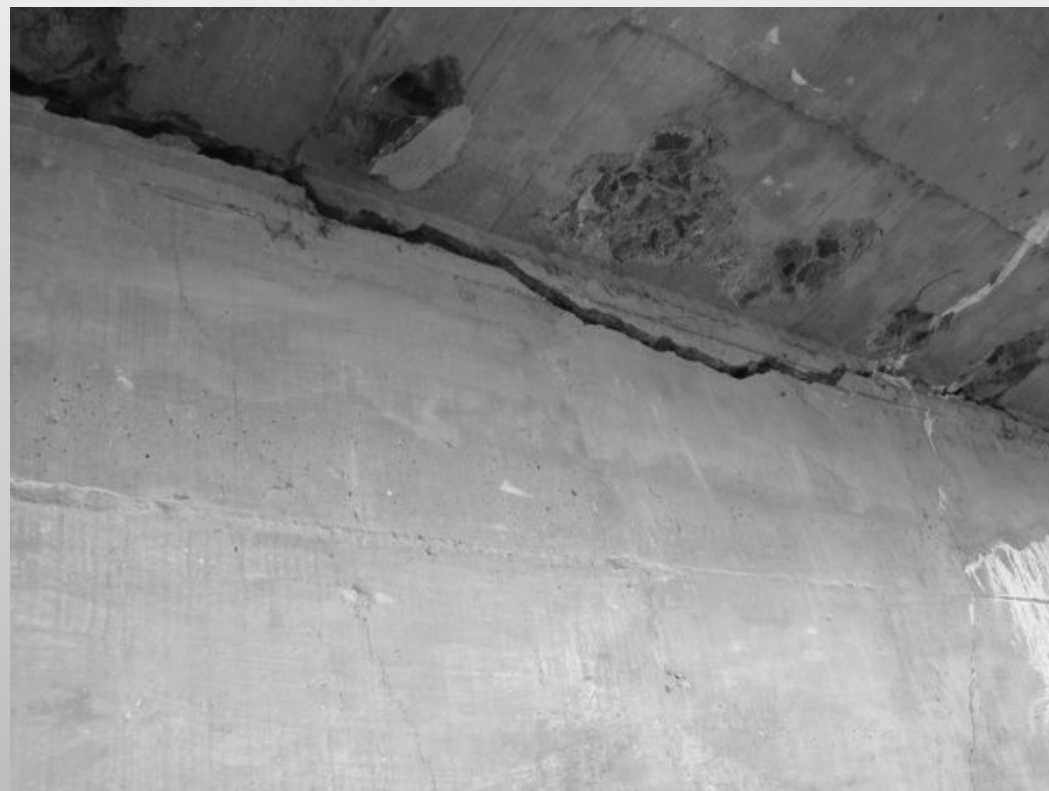


Estudos de Caso

• PONTE SOBRE O RIO SAMAMBAIAS – PR151

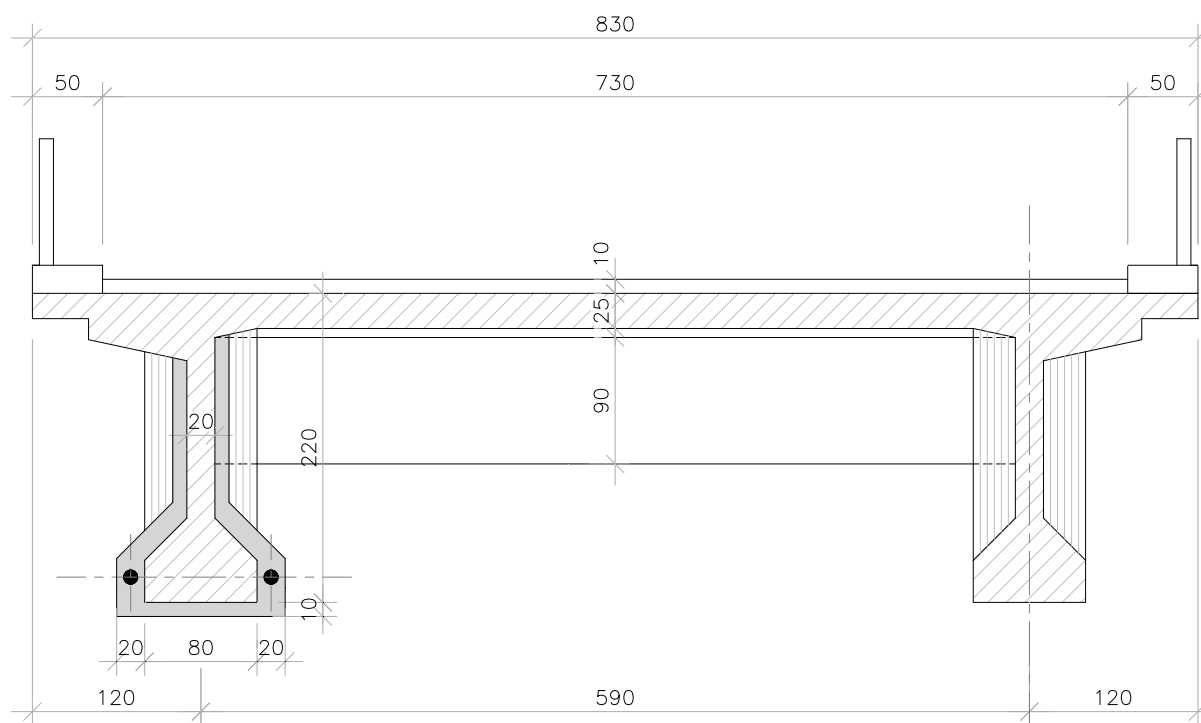


Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Samambaias – PR151

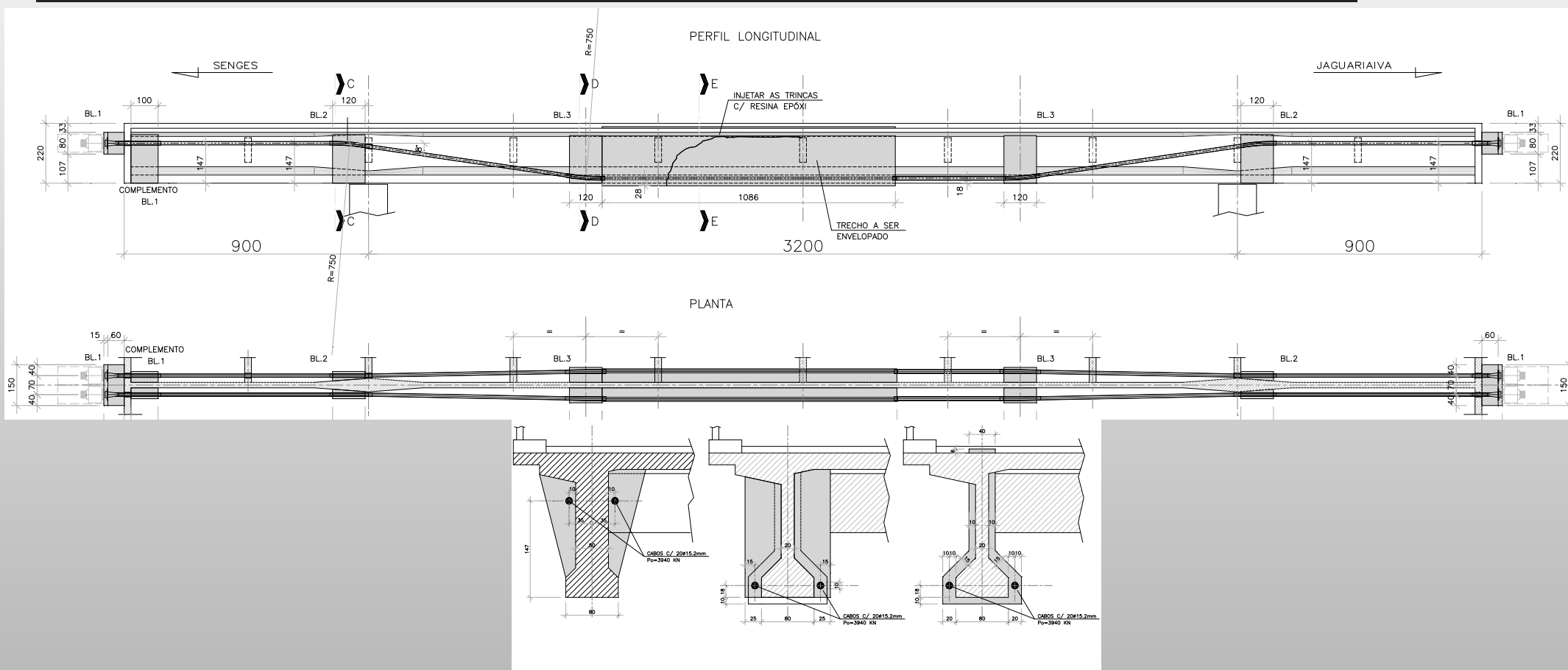


Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Samambaias – PR151

SEÇÃO TRANSVERSAL (TÍP.)
ESC. 1:50



Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Samambaias – PR151



Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Samambaias – PR151



Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Samambaias – PR151



Estudos de Caso

• PONTE SOBRE O RIO TIJUCAS – BR101/SC



Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Tijucas – BR101/SC

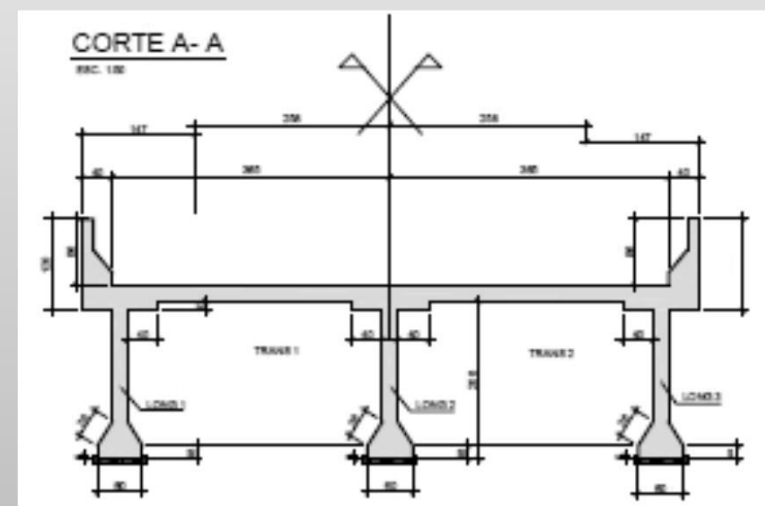
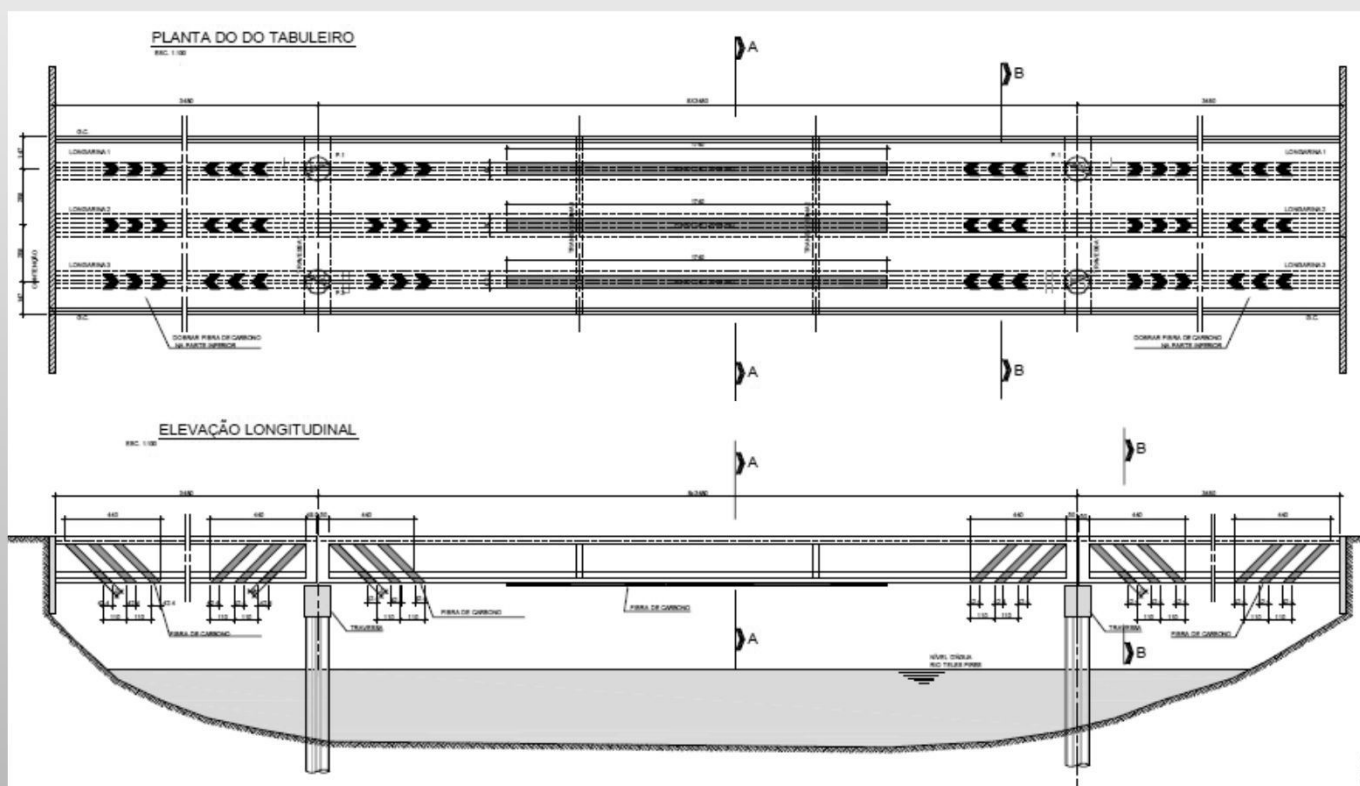


Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Tijucas – BR101/SC



Estudos de Caso

• PONTE SOBRE O RIO TELES PIRES – MT320

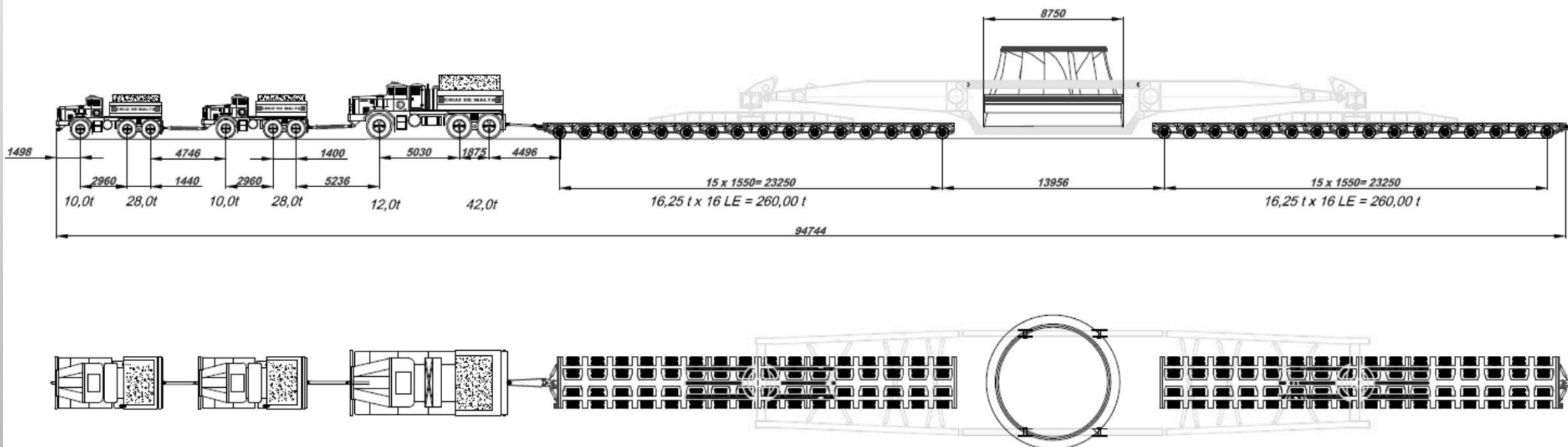


Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Teles Pires – MT320

Rotor da Turbina da UHE Teles Pires

PBT 650,00 tf

Carga por eixo = 16,25tf/eixo



Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Teles Pires – MT320

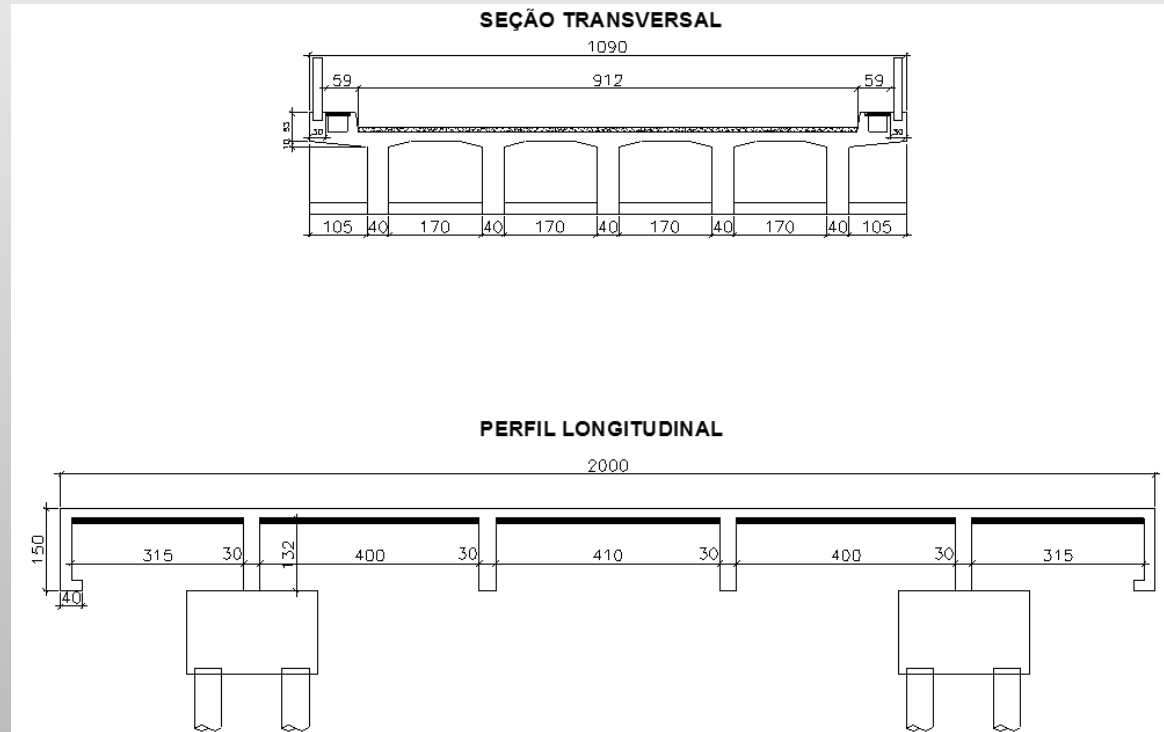


Estudos de Caso – Ponte sobre o Rio Teles Pires – MT320



Estudos de Caso

• PONTE NA NUCLEP – SEPETIBA/RJ



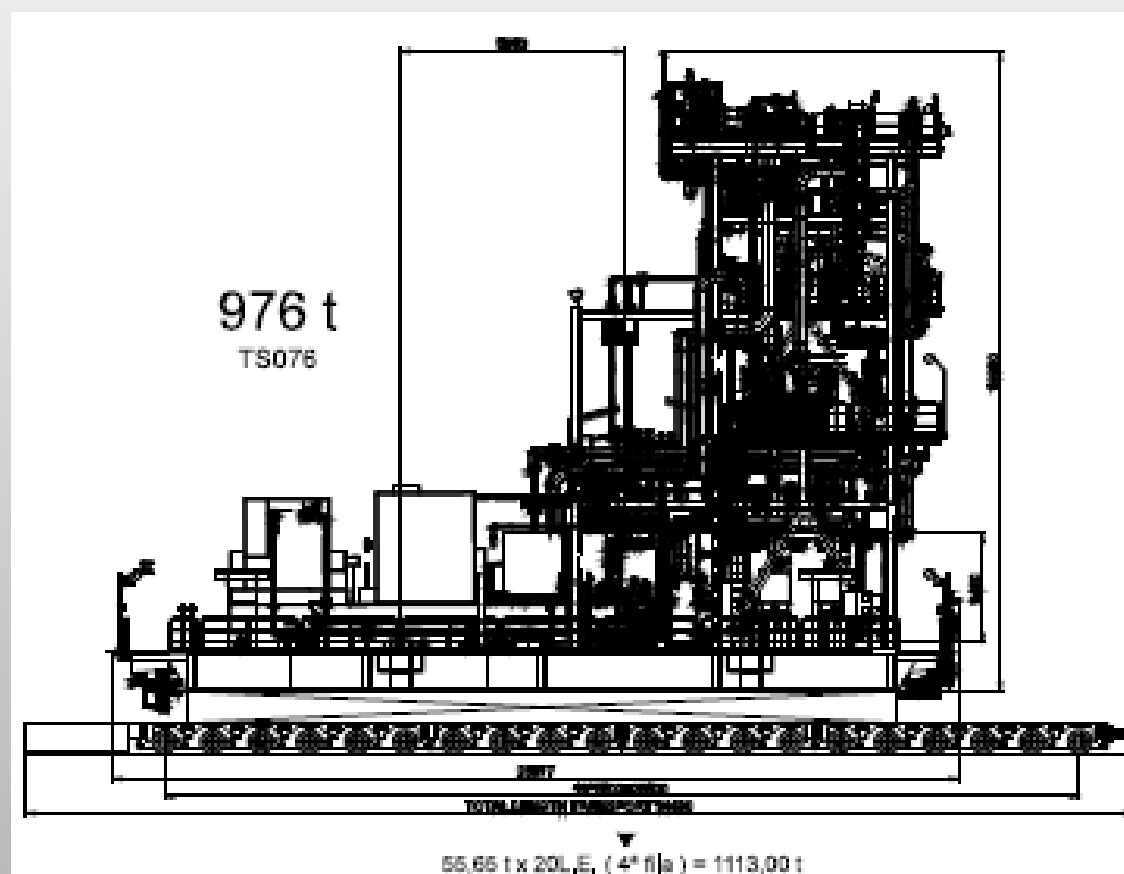
Estudos de Caso – Ponte Nuclep – Sepetiba/RJ

Módulo de Gás – Plataforma

PBT 1113,00 tf

Carga por eixo = 55,66tf/eixo

ITEM	DESCRIÇÃO	PESO
03	POWER PACK	7,00 t
02	TRAILER (REBOQUE)	130,00 t
PESO EQ. TRANSP.		137,00 t
01	CARGA (PEÇA)	976,00 t
PESO BRUTO TOTAL		1113,00 t



Estudos de Caso – Ponte Nuclep – Sepetiba/RJ



Estudos de Caso

• PASSO DO FREVO – RECIFE/PE



Estudos de Caso – Passo do Frevo – Recife/PE



Estudos de Caso – Passo do Frevo – Recife/PE





Estudos de Caso – Passo do Frevo – Recife/PE





OBRIGADO!

