



SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
DE  
ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA



# Projeto de Estanqueidade de uma Cobertura

**Eng. Paulo Helene**

*MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo  
Coordinador Internacional de la Red REHABILITAR CYTED  
Miembro de ALCONPAT  
Presidente do IBRACON*

México, 16 de abril de 2007

1



SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
DE  
ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA



# Edifício “Vilanova Artigas” *Prédio da FAU.USP*

**Eng. Paulo Helene**

*MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo  
Coordinador Internacional de la Red REHABILITAR CYTED  
Miembro de ALCONPAT  
Presidente do IBRACON*

México, 16 de abril de 2007

2

**Edifício**  
**“Vilanova Artigas”**  
**Prédio da FAU.USP**

- 1. Descrição**
- 2. Problemas**
- 3. Inspeção**
- 4. Diagnóstico.Prognóstico**
- 5. Conceitos de Reabilitação**
- 6. Alternativas**

3

**NB 1 / NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto**  
*Procedimento*  
*2003 obrigatória a partir de abril de 2004*

## **6.2 Vida útil de projeto**

**6.2.1 Vida útil de projeto significa o período de tempo através do qual as características projetadas para aquela estrutura de concreto se mantêm dentro de padrões mínimos, desde que utilizadas e mantidas em conformidade com as condições expressas em 7.8 e 25.4.**

4

**NB 1 / NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto**  
*Procedimento*

**7.8 Inspeção e Manutenção Preventiva**

**7.8.1 Todo projeto estrutural deve levar em conta estratégias que facilitem a inspeção e manutenção preventiva da estrutura de concreto.**

**7.8.2 Um manual de uso, inspeção e manutenção deve ser elaborado de acordo com 25.4.**

5

**NB 1 / NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto**  
*Procedimento*

**25.4 Manual de uso, inspeção e manutenção**

Dependendo do porte da estrutura e das condições de agressividade ambiental, um manual de uso, inspeção e manutenção deve ser elaborado por profissional competente contratado pelo proprietário. Esse manual deve conter todas as informações, dados e memórias do projeto, dos materiais, dos produtos e da execução da estrutura. Esse Manual deve especificar de forma clara e objetiva os requisitos básicos de uso e manutenção preventiva que assegurem a vida útil prevista e estar conforme com a NBR 5674 Manutenção de Edificações. Procedimento.

6

**NBR 5674 Manutenção de Edificações**  
*Procedimento*

**3.4 Manual de operação, uso e manutenção**

Documento que reúne apropriadamente todas as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação.

Deve ser elaborado em conformidade com a NBR 14037 Manual de operação, uso e manutenção das edificações. Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação.

7

**Descrição sumária e  
sucinta da estrutura  
em estudo**

8

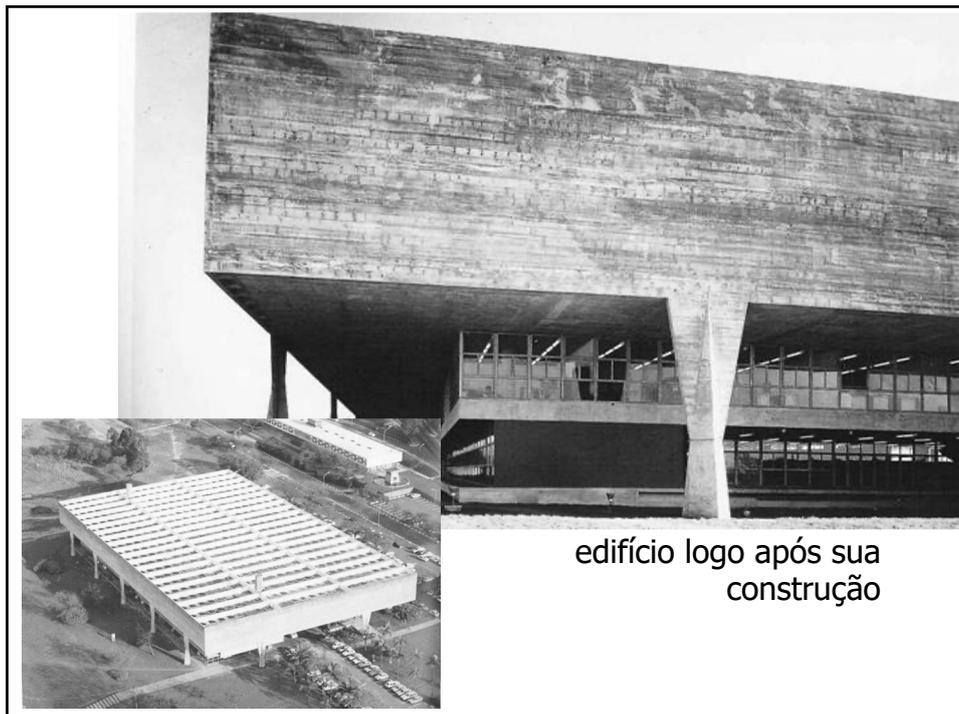
## projeto, concepção e contextualização

O prédio da FAUUSP é certamente o mais conhecido dos edifícios projetados pelo arquiteto João Batista Vilanova Artigas (1915-1985). Conceitualmente, o prédio representa as influências do chamado "brutalismo", vertente paulista do movimento moderno e do qual o autor é idealizador e um dos expoentes.

ARTIGAS (1961) pensou na FAU: "como a espacialização da democracia, em espaços dignos, sem portas de entrada, porque o queria como um templo, onde todas as atividades são líricas".

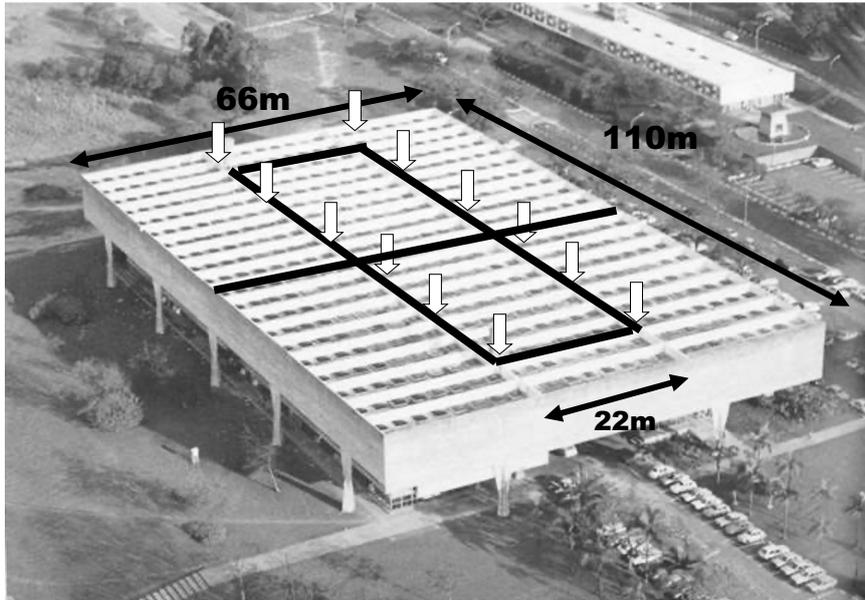
A estrutura do edifício é composta por elementos de concreto armado e protendido e foi projetada pelo escritório do engenheiro João Carlos de Figueiredo Ferraz.

9



10

### Edifício Sede da FAUUSP, em São Paulo, 1969



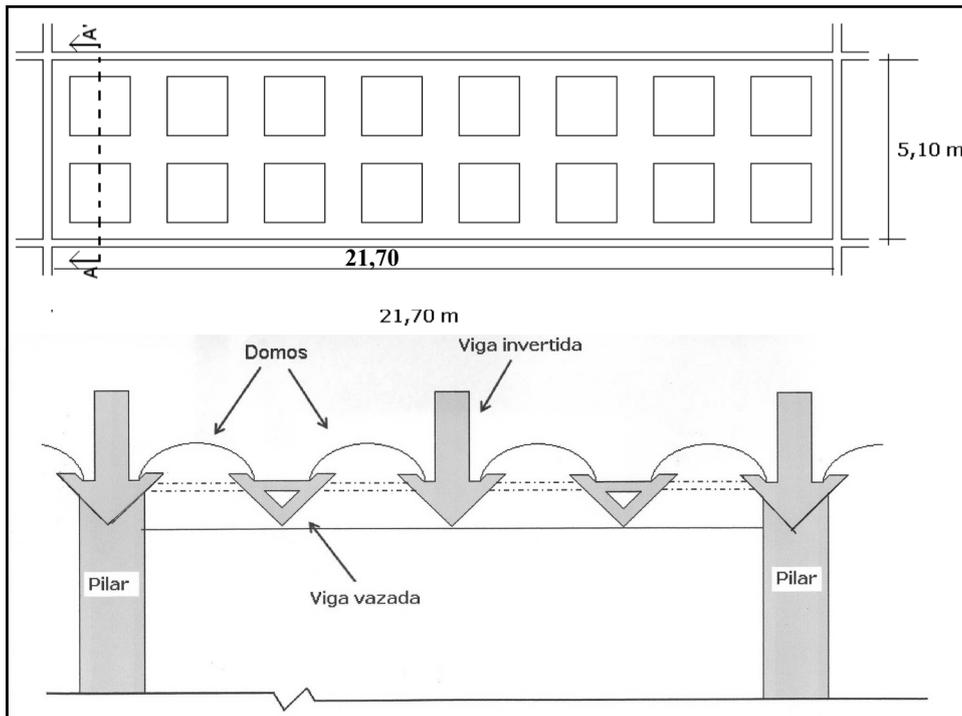
11



12



13



14



15

## Problemas Observados

16

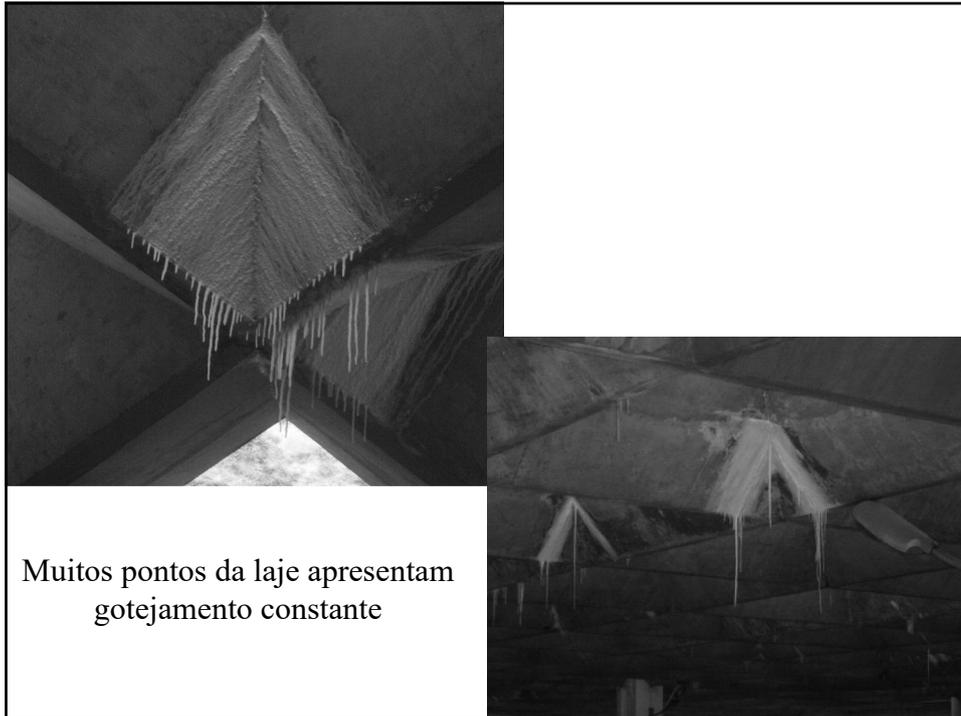


17

✓ Ocorrência generalizada de eflorescências e estalactites na face inferior da laje estrutural de cobertura



18



19



20

✓ Em pontos isolados da face inferior da laje existe a ocorrência de corrosão de armaduras



21

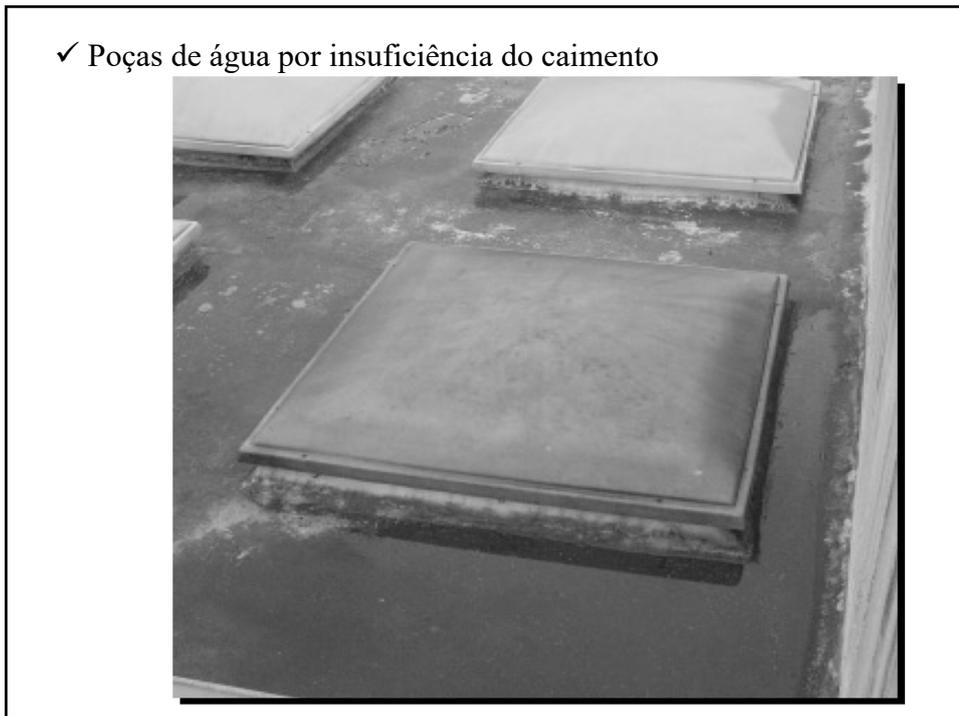
✓ Colapso do sistema de impermeabilização atual



22



23



24



25

✓ Corrosão de  
armaduras nas vigas  
estruturais invertidas



26



Corrosão nas vigas invertidas

27

✓ Estribos rompidos por corrosão



28

## **Agressividade Ambiental**

Segundo os critérios de classificação da agressividade ambiental recomendados pelo procedimento NBR 6118 para o Projeto de Estruturas de Concreto pode-se considerar:

✓ macro-clima, atmosfera urbana e industrial → grau de agressividade forte, III.

✓ micro-regiões, nos locais e faces protegidos de chuva, secos e estanques

29

## **Inspeção detalhada e Resultados de Ensaios**

30

**Extração de testemunhos cilíndricos  
(diâmetros de 75 mm) conforme  
recomendação da norma NBR 7680**



31



32

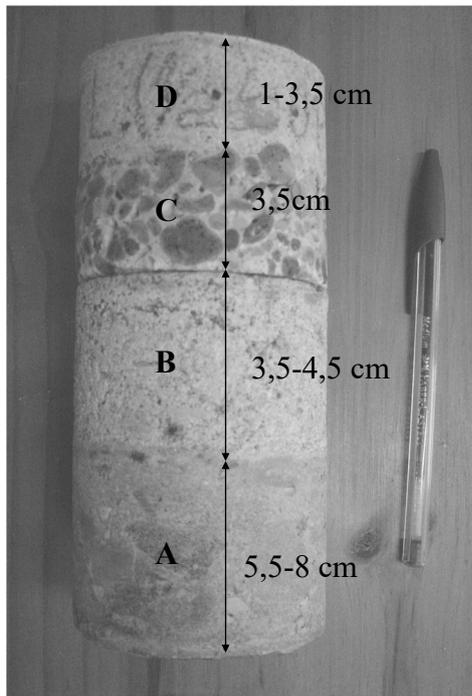
✓ Existência de sobreposição indevida de várias camadas de diferentes sistemas de impermeabilização

A = mesa estrutural da laje;

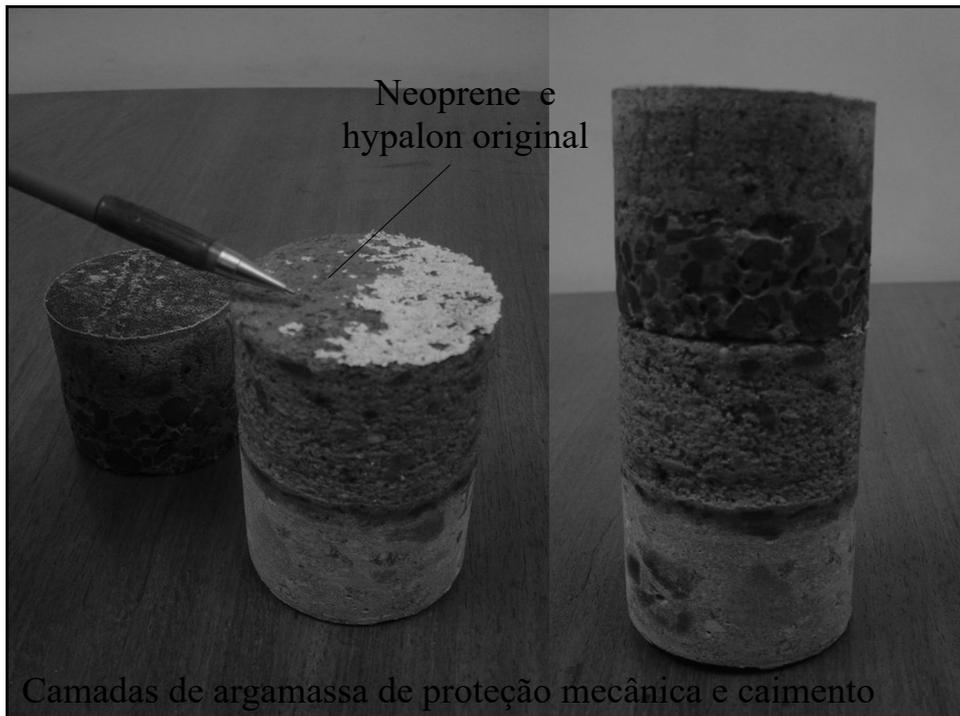
B = argamassa de regularização e caimento do primeiro sistema impermeabilizante.;

C = argamassa para proteção mecânica do primeiro sistema impermeabilizante.;

D = argamassa de regularização e caimento do segundo sistema de impermeabilizante



33



34

✓ Muitas partes internas das vigas vazadas da laje de cobertura (tipo “caixão perdido”) encontram-se cheias de água



35



Acúmulo de água no interior das vigas vazadas.

36



37



38



**Potencial de corrosão: Indicador da possibilidade de ocorrência de corrosão (ASTM C876)**

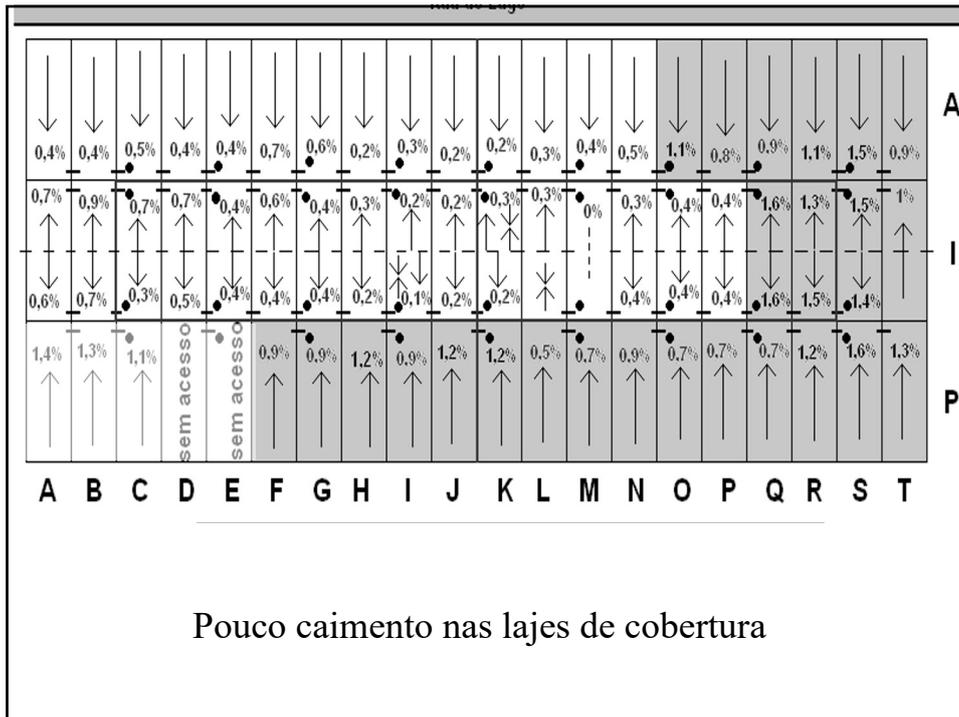
39

## **Resultados – Propriedades do concreto**

Com as inspeções realizadas, encontrou-se:

- ✓ A resistência à compressão do concreto variou de 26MPa a 34MPa.
- ✓ A absorção de água por imersão ficou numa faixa de 4,3% a 6,4%
- ✓ A profundidade de carbonatação variou de 5mm a 25mm, sobrepassando em alguns pontos a espessura de concreto de cobrimento das armaduras

40



41

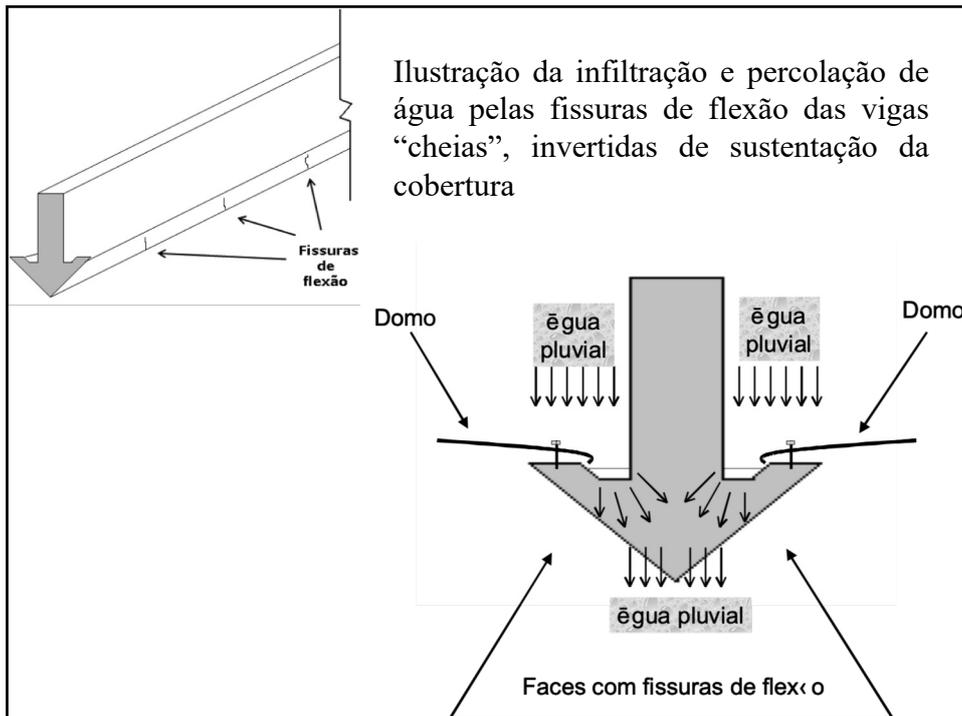
**Diagnostico &  
Prognóstico**

**mecanismos de infiltração de  
água pluvial na laje**

42



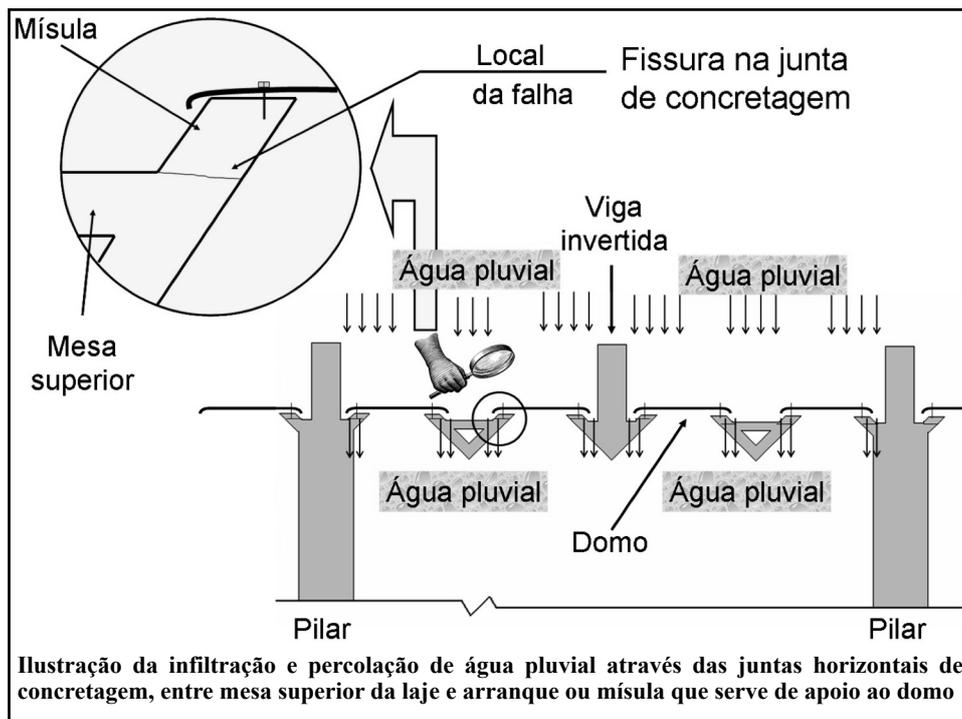
43



44



45

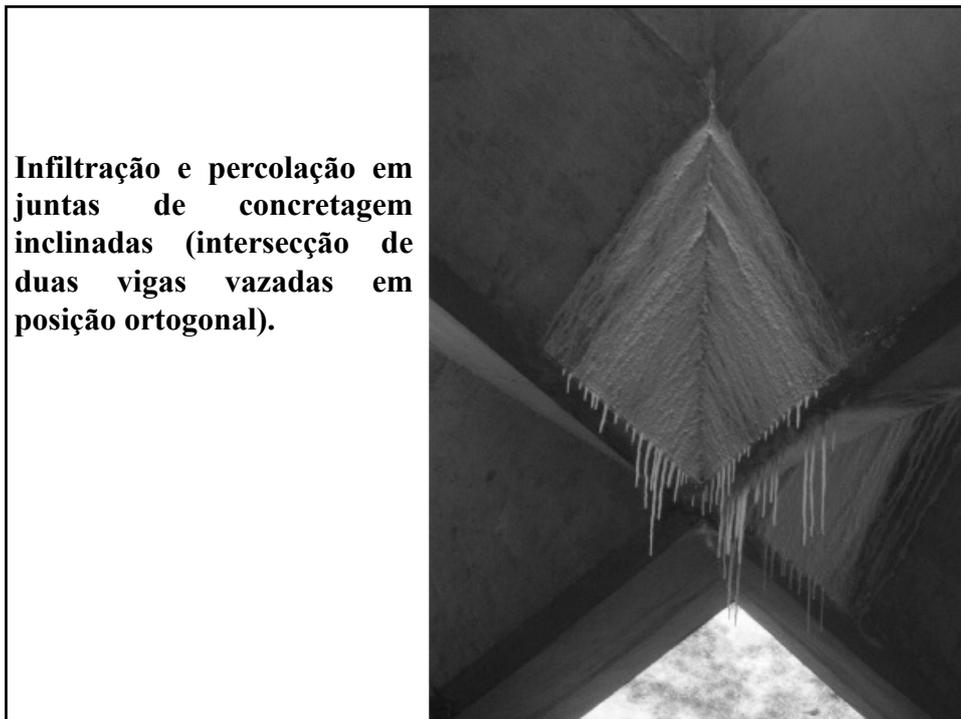


46



3º MECANISMO: Viga vazada, infiltração pelas juntas de concretagem inclinadas (encontro entre vigas das duas direções). Alimentado pela água do interior das vigas vazadas

47

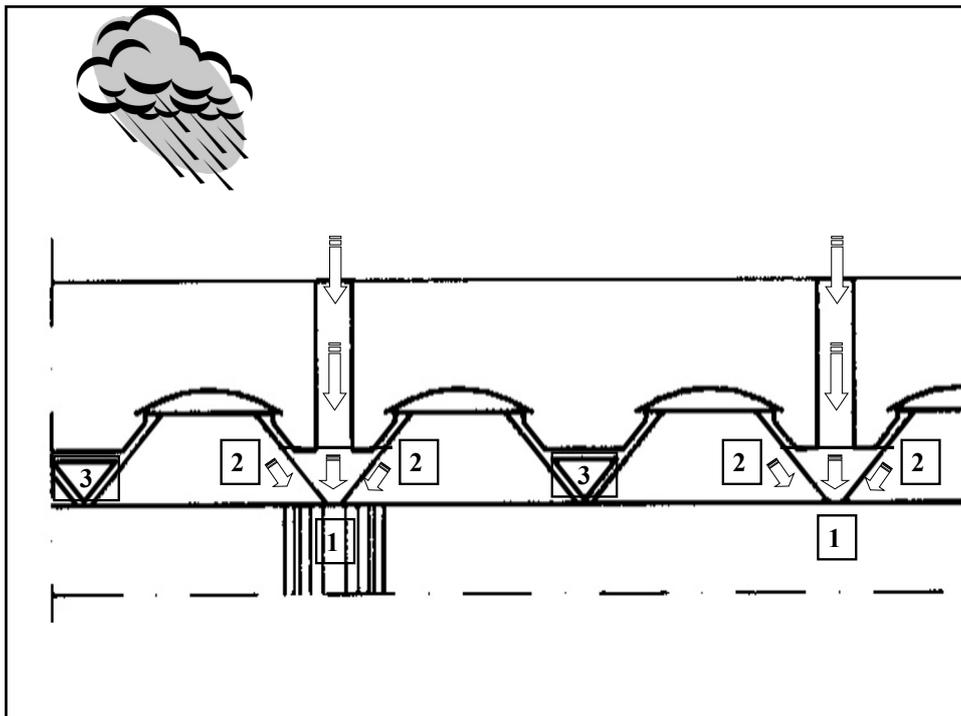


**Infiltração e percolação em juntas de concretagem inclinadas (intersecção de duas vigas vazadas em posição ortogonal).**

48



49



50

## **Conclusões:**

Há necessidade de reabilitar e proteger a superfície inferior da laje de cobertura

Há necessidade de reparos e reabilitação de armaduras corroídas na laje de cobertura (face inferior e superior);

Há necessidade de reparos e reabilitação de armaduras corroídas nas vigas invertidas de sustentação da cobertura

51

Há necessidade de instalação de um novo sistema de impermeabilização na laje de cobertura;

Há necessidade de reabilitação das juntas de movimentação da laje de cobertura;

Há necessidade de revisar e reabilitar o sistema de coleta de águas pluviais.

52

# Conceituação

*(intervenção em estruturas  
de concreto)*

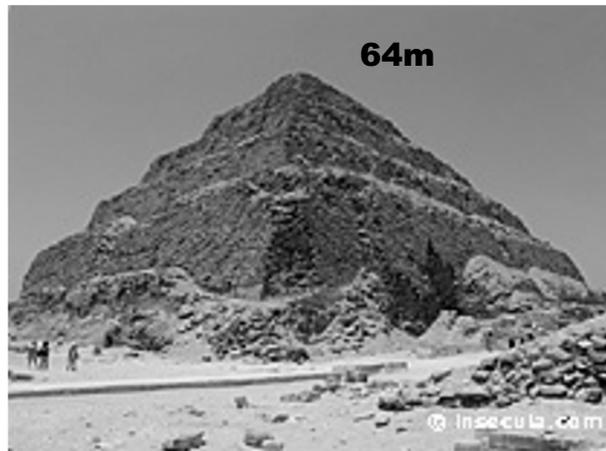
53

**QUANDO FOI  
RECONHECIDA A  
PROFISSÃO DE  
ARQUITETO e  
ENGENHEIRO CIVIL POR  
PRIMEIRA VEZ ?**

54

## Arquiteto e médico Imhotep

2790 A C



**Pirâmide escalonada de Djeser**

55



56

# Construir com Materiais Resistentes e Duráveis

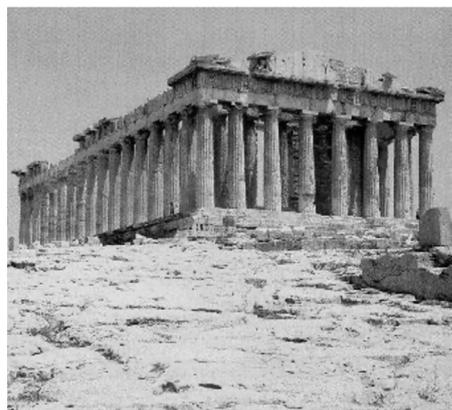
57

## O CONCEITO DE CONSTRUIR COM DURABILIDADE EXISTE NAS OBRAS DESDE A ANTIGUIDADE

Arquitetos Ictinos de Mileto  
e Calícrates (*escultor Fídias*)



**Pártenon, 440 aC**  
**“século de Péricles”**



58



59

**QUANDO APARECEU  
O CONCRETO  
POR PRIMEIRA VEZ  
NA HISTÓRIA?**

60

Panteão  
de  
Roma



61

**Cúpula do Panteão**  
**Século II dC → Diâmetro de 47m**



62

## Séculos

IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romanico → Abadia Cluny, France

XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Coloña

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral San Pedro, Bernini

XVIII → Estilo Neoclasico → Arco del Triunfo , Paris

XIX → Estruturas metálicas

63

## Catedral de Notre Dame

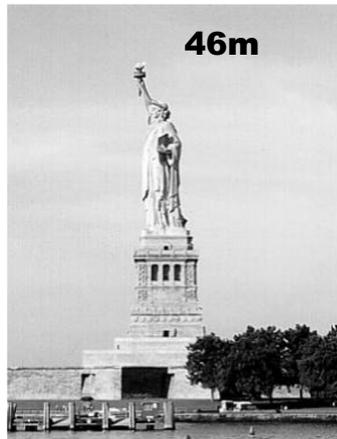


1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

64

**“Gustave Eiffel”**  
**1884 → Estatua da Liberdade**  
**1889 → Torre Eiffel**



**(5a+2a)**  
**60t**  
**pintura**



**2004 → 6.230.050 visitantes**

65

**SÉCULO XX**  
**1900**

**APARECE UM**  
**NOVO MATERIAL**

***Concreto Armado***

66

## **Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto**

<b>1903</b>	<b>Suiça</b>
<b>1903</b>	<b>Alemanha</b>
<b>1906</b>	<b>França</b>
<b>1907</b>	<b>Inglaterra</b>

67



**Palacio Salvo**  
**Montevideu**

**27 pavimentos**

**Uruguay 1925**

**Altura 103m**

**$f_{ck} = ?$**   
**80 anos!!!!**  
*record mundial*

68



**Edifício Martinelli**  
**São Paulo**

**30 pavimentos**

**Altura 109m**

**Rua Líbero Badaró**

**$f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$**

***1929-2006 = 77 anos***

69

**Naquela época acreditava-se que...**

**Os PROBLEMAS de CORROSÃO e  
de DURABILIDADE estavam  
resolvidos definitivamente  
pois o aço seria protegido  
“ETERNAMENTE”  
pela “rocha” concreto**

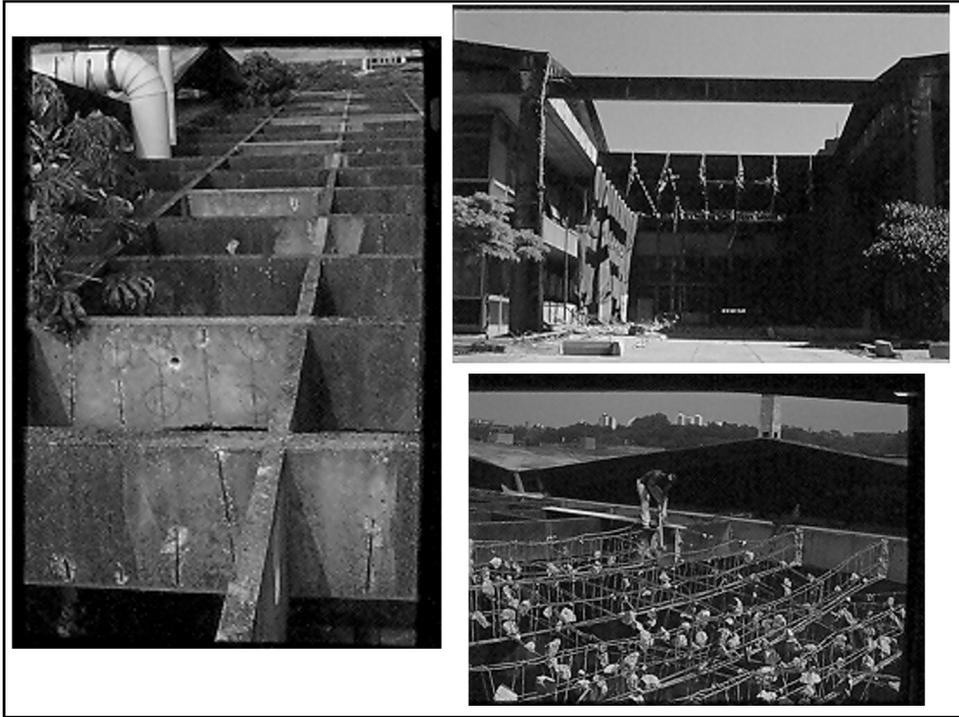
70



71



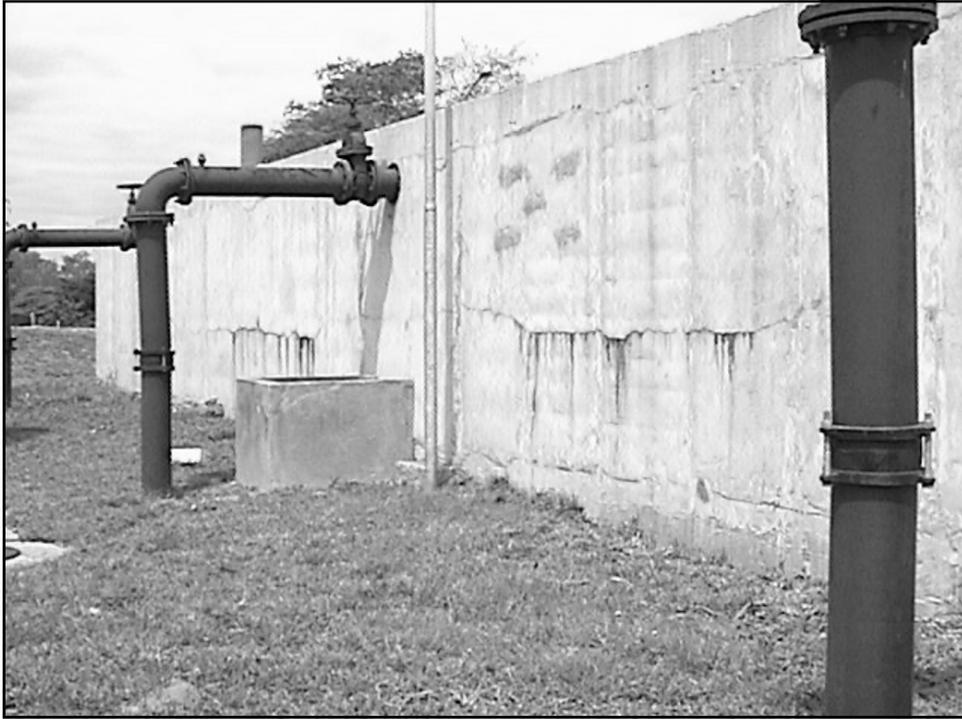
72



73



74



75

**Não existe material de  
construção mais  
durável que o concreto!  
Somente algumas rochas  
têm a mesma durabilidade**

76

## **Conceitos**

- ✓ Impermeabilidade é diferente de estanqueidade
- ✓ Material é diferente de estrutura

77

## **Conceitos**

- ✓ Não existe panacéia universal nem solução “definitiva”. A solução definitiva é saber conviver com o problema.
- ✓ Deve ser implementado um programa de manutenção permanente da cobertura

78

## **ALTERNATIVAS**

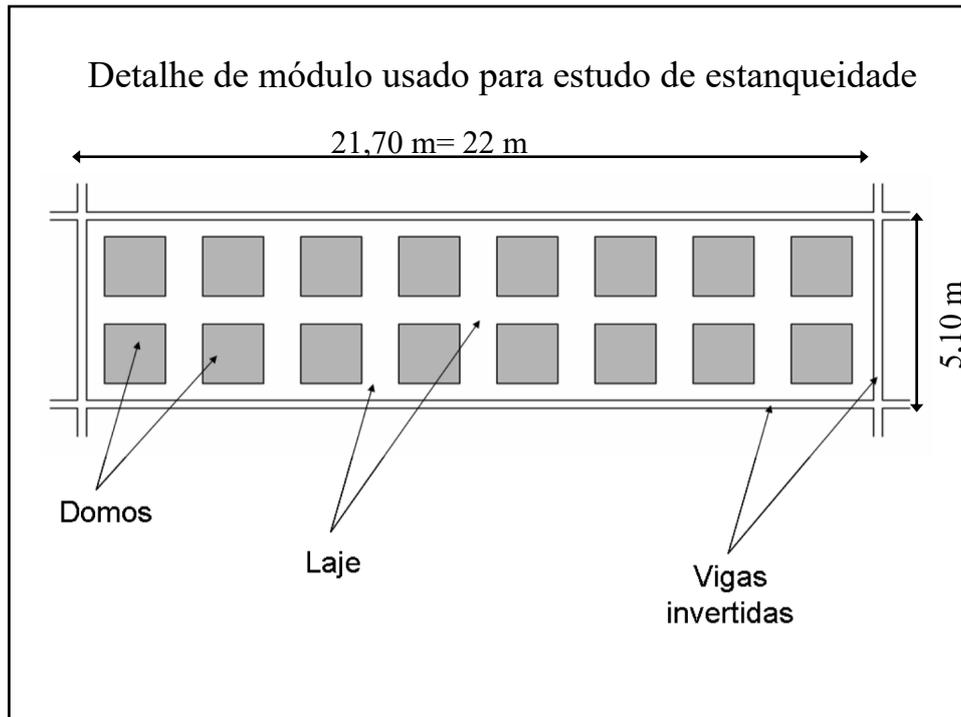
- **Reabilitar a estrutura**
  - **Não aderidos**
    - **Aderidos**

79

## **Estudos Experimentais de Estanqueidade**

- **Silicato de sódio**
  - **Manta PVC**
  - **Poliuréia**

80



81



82

Alternativas

melhora estrutura

## Silicato de Sodio



83

Alternativas

sistema não aderente

manta de PVC reforçada com malha de poliéster na  
espessura de mínima de 1,2mm



84

Alternativas:

### Revestimento Poliuréia

sistema elastomérico de alta espessura (>1mm), à base de poliuréia híbrida isento de solventes, com alumínio metálico incorporado, aplicado em espessuras a partir de 0,5mm.

sistema aderente

85

### **VISÃO GERAL do PROJETO de REABILITAÇÃO**

- Descrição das Intervenções**
- Materiais e Sistemas**
- Equipamentos**
- Mão-de-Obra**
- Controles**
- Previsão orçamentária**

86

## **VISÃO GERAL do PROJETO de REABILITAÇÃO**

### **Grandes Intervenções:**

- **Recuperação estrutural das vigas**
- **Impermeabilização da laje**  
**( 3 alternativas)**
- **Reparo no concreto aparente**

87

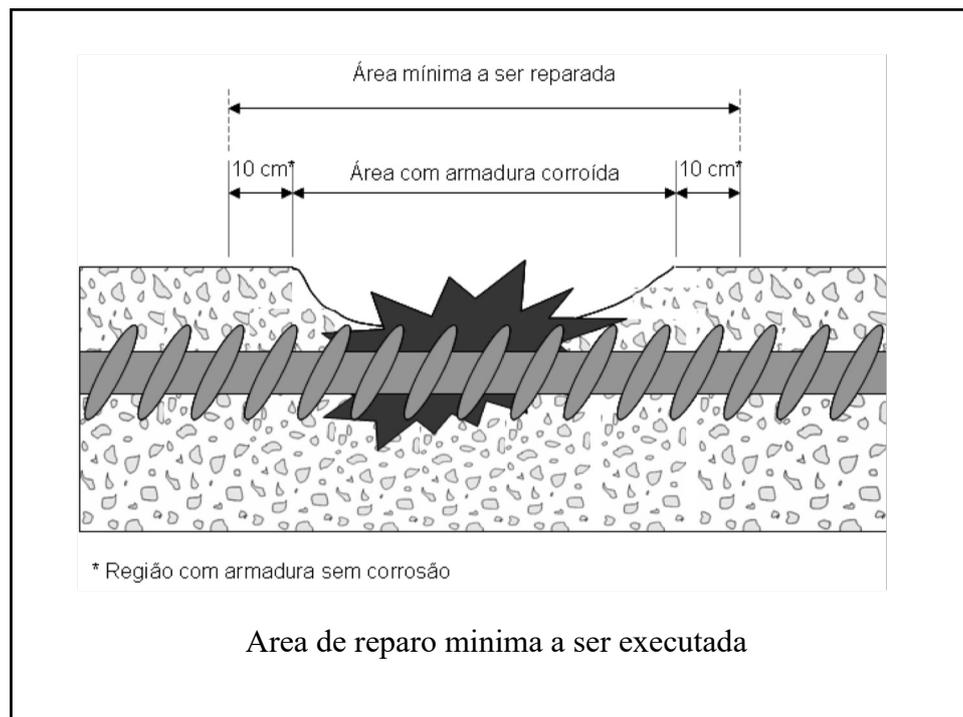
### **Intervenções complementares:**

- **Reconstrução e proteção de juntas de dilatação**
- **Recuperação e proteção de vigas de periferia (platibanda)**
- **Recuperação do sistema de coleta de águas pluviais, na cabeça dos pilares**

88

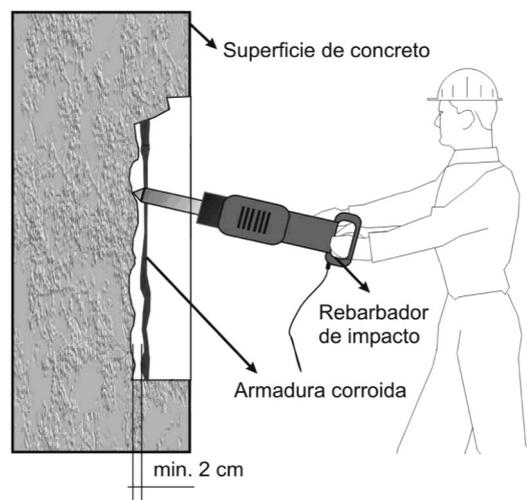
# Recuperação estrutural das vigas

89



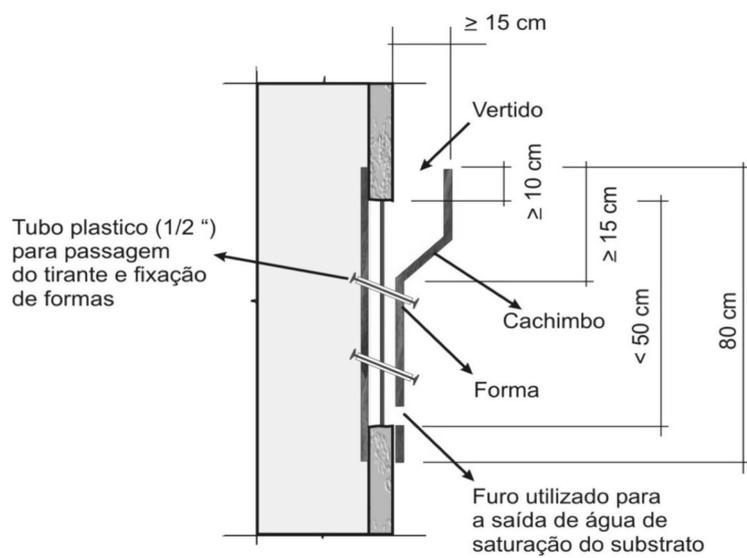
90

**-- Escarificação do concreto contaminado, com martetele eletromecânico**



91

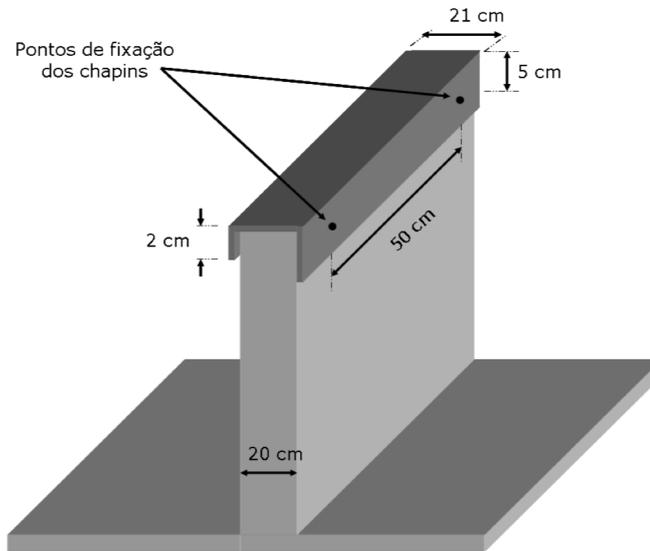
**--Preenchimento com graute de alta resistência**



**Fôrmas tipo cachimbo**

92

**- Fornecimento e colocação de chapins de alumínio na face superior de todas as vigas invertidas e na viga (platibanda) de periferia**



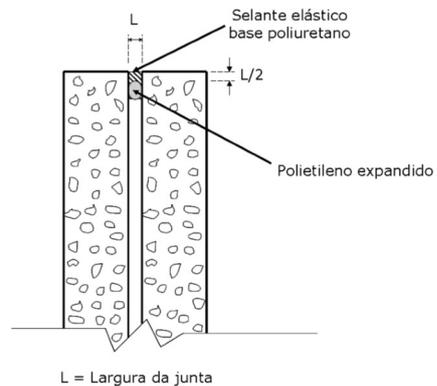
93

**-- Limpeza por escovamento das juntas de dilatação**

**-- Preenchimento com selante base poliuretano**

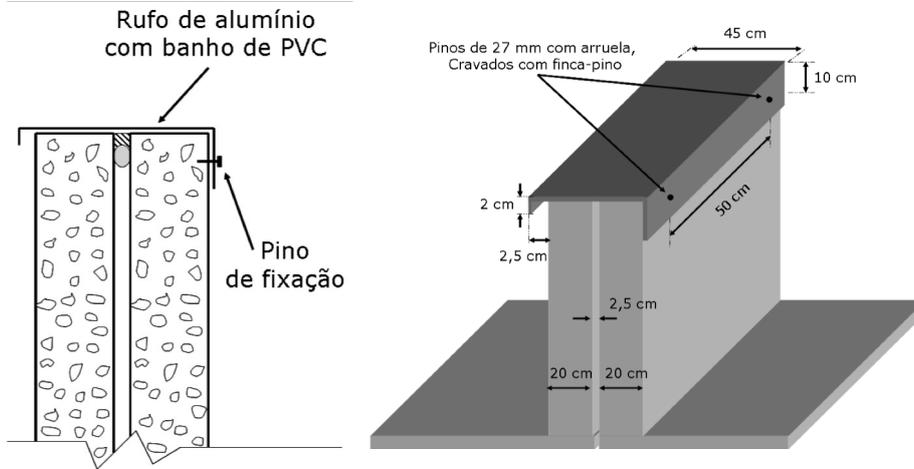


Exemplo de berço de polietileno expandido



94

### - Fornecimento e colocação de chapim de proteção



95

## Impermeabilização da laje Silicato de sodio

96

### **Alternativa com silicato de sódio**

- Retirada de todas as camadas de revestimento inclusive a argamassa de regularização original;
- Preparação da superfície;



Rugosidade da superfície recém-escarificada, devendo ser lixada

97

### **Alternativa com silicato de sódio**

- Aplicação de acetato de cálcio diluída a 10%, 24 horas antes da aplicação do silicato de sódio



98

### **Alternativa com silicato de sódio**

-- Aplicação do silicato de sódio em reparo preparado ao mesmo tempo em que é aplicado na laje de cobertura.



99

### **Alternativa com silicato de sódio**



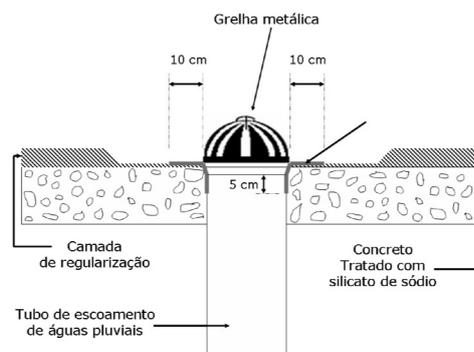
Hidratação de laje de concreto após aplicação do silicato de sódio

100

### Alternativa com silicato de sódio

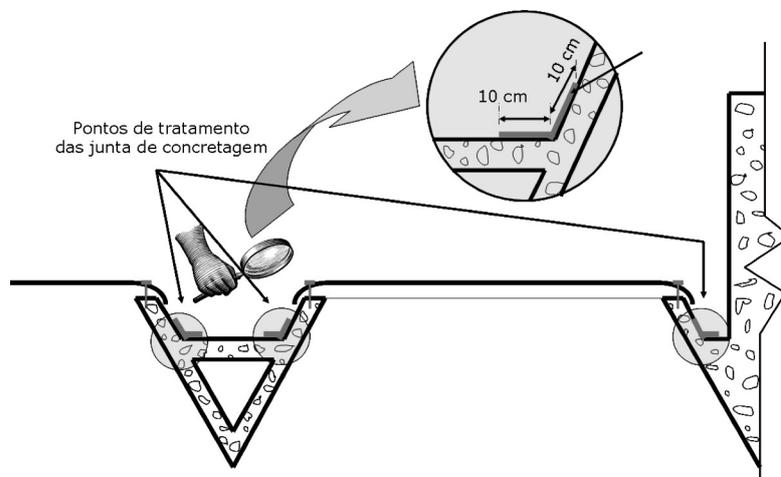
- Fechamento dos reparos localizado;
- Aplicação do silicato de sódio sobre o reparo;
- Tratamento dos ralos;  
(selante autonivelante de poliuretano bicomponente)

- Aplicação de argamassa de cimento;
- Cura úmida por aspersão de água



101

### Alternativa com silicato de sódio



**Tratamento das juntas de concretagem com poliuretano**

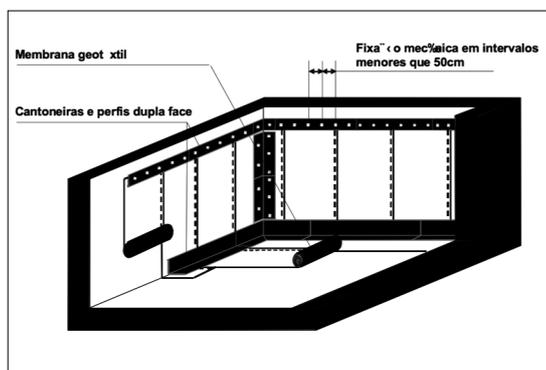
102

# Impermeabilização da laje Manta PVC

103

## Alternativa com manta de PVC

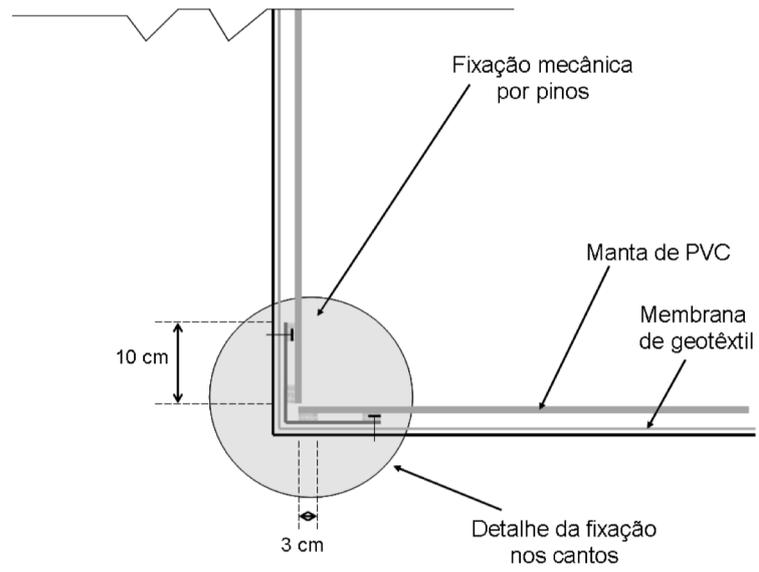
### Fornecimento e aplicação da manta de PVC



- Geotêxtil de  $150\text{g/m}^2$ , 3mm
- fixações mecânicas,
- perfil metálico com dupla-face (alumínio e PVC) e
- manta de PVC reforçada com malha de poliéster na espessura de mínima de 1,2mm.

104

Detalhe da fixação da manta de PVC nos cantos em 90°.



105



106



107



108



109

## **Impermeabilização da laje Poliurea**

110

Alternativas:

## Revestimento Poliuréia

sistema elastomérico de alta espessura (>1mm), à base de poliuréia híbrida isento de solventes, com alumínio metálico incorporado, aplicado em espessuras a partir de 0,5mm.

sistema aderente

111

## Alternativa com revestimento base poliurea Fornecimento e aplicação de revestimento tipo poliuréia



Air Less bi-componente” de pressão mínima de 3.500 psi e temperatura mínima de 75°C

112

### **Alternativa com revestimento base poliurea**

- Regularização da superfície;**
- Cura úmida por aspersão de água;**
- Limpeza do substrato.**

113

## **Previsão Orçamentária**

114

## Previsão Orçamentaria

### Total Geral:

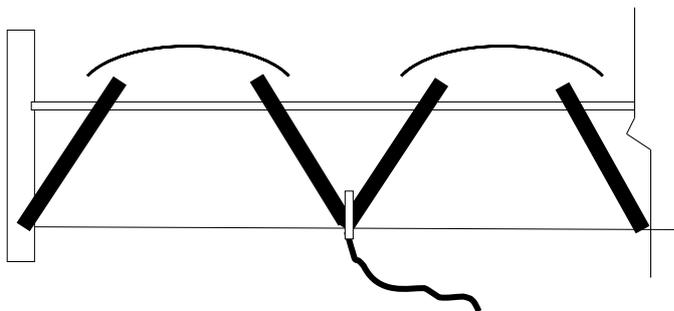
- Recuperação estrutural das vigas → R\$ 705.432,00
- Proteção de concreto aparente → R\$ 693.755,00
- Impermeabilização da laje:
- Silicato de sódio → R\$ 634.175,00
- Manta de pvc → R\$ 1.231.341,00
- Poliuréia → R\$ 1.008.744,00

115

## REABILITAÇÃO

### Procedimento de Execução

#### ■ Fixação do pino

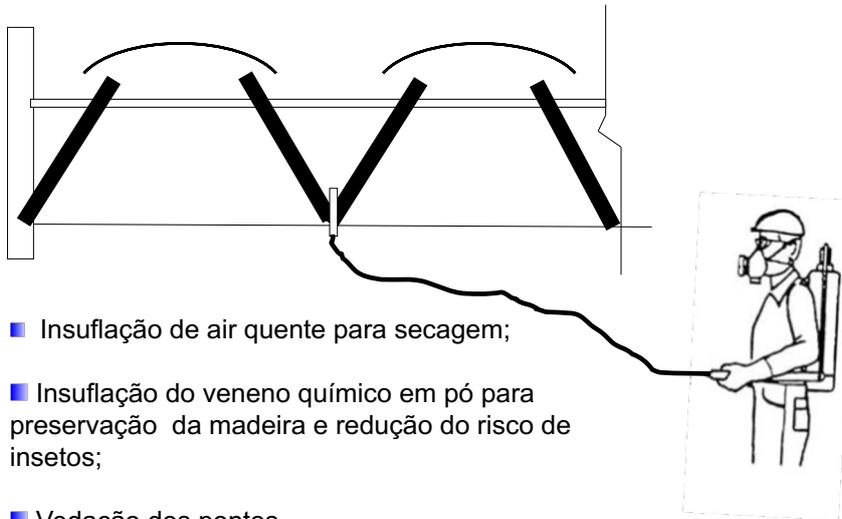


Deve ser fixado um pino com adaptador para engate de mangueira de pressão de pelo menos 25 mm de diâmetro.

116

## REABILITAÇÃO

### Procedimento de Execução



117



119