

# **ESTUDO DAS ALTERAÇÕES DAS TELHAS DE CIMENTO-AMIANTO AO LONGO DO USO, PELA EXPOSIÇÃO ÀS INTEMPÉRIES**

Relatório Técnico nº 85 176-205

Protegido por direitos autorais

## ❖ OBJETIVOS:

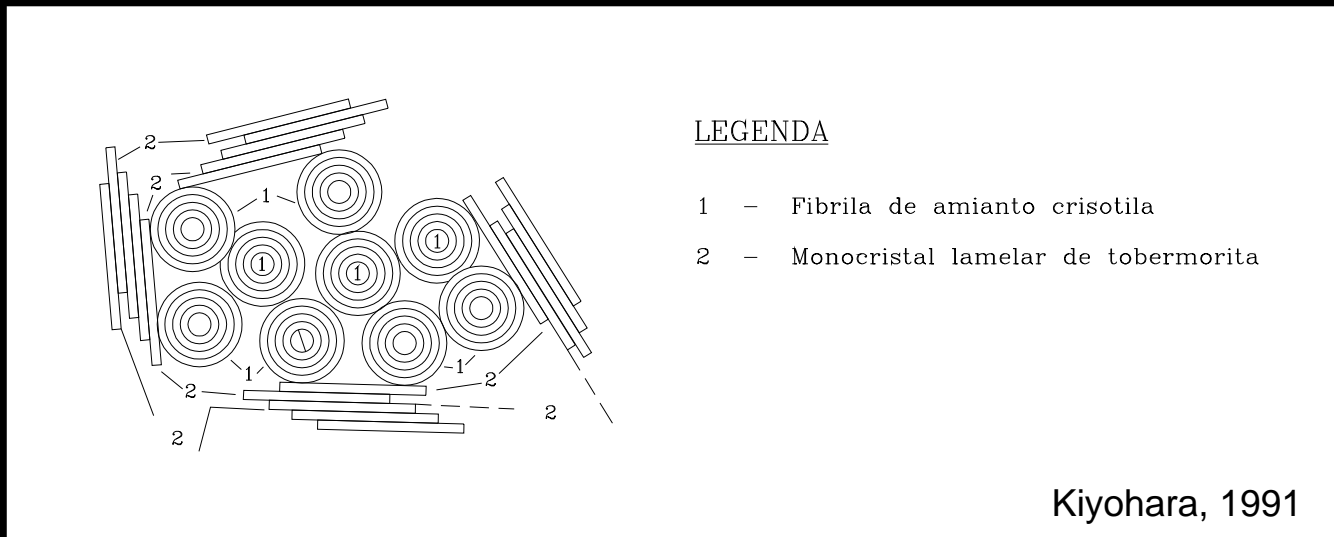
- ❖ Identificar e caracterizar os processos de alteração do cimento-amianto das telhas situadas em ambientes diversos, ao longo do uso
- ❖ identificar os fatores ambientais e algumas características do processo produtivo que favoreçam a degradação do cimento-amianto das telhas.

Para alcançar tais objetivos, fez-se necessária também a caracterização dos produtos de alteração do cimento-amianto

# Fibro-cimentos e cimento-amianto

- Fibro-cimento é um compósito constituído por uma matriz de cimento Portland, endurecido em presença de quantidade adequada de água, reforçada por fibras inorgânicas ou orgânicas, naturais ou sintéticas. Produtos de fibro-cimento normalmente contêm em torno de 10% de fibras, cuja principal função é agir como reforçador do cimento.
- Cimento-amianto é um tipo de fibro-cimento, onde o reforço é feito com fibras de amianto. No Brasil, atualmente, é utilizado apenas o amianto crisotila.

# Interface crisotila-pasta



- Presença de monocristais lamelares de tobermorita  $[\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ , fortemente aderidos à superfície das fibras/fibrilas do amianto crisotila.
- Estão inseridos, imbricados e/ou entrecruzados junto com outros hidratos da pasta endurecida na crisotila.

- Monocristais de tobermorita:
  - são os pontos de fixação ou de ancoragem das fibras de crisotila;
    - com isso, impedem o deslizamento das mesmas dentro dos vazios do corpo poroso de cimento endurecido e
    - conferem flexibilidade e resistência mecânica ao cimento-amianto.
- A aderência da superfície maior dos cristais lamelares de tobermorita à superfície das fibras/fibrilas de crisotila é eficiente porque existe grande semelhança entre a estrutura cristalina de ambos componentes

## ESTUDO:

1. Amostragem – locais e critérios
2. Análises Laboratoriais
3. Discussão dos resultados
4. Considerações
5. Conclusões

# LOCAIS E CRITÉRIOS DE AMOSTRAGEM

## Telhas de diferentes tipos...

Tipo de telha	Número de amostras
Ondulada	17 descobertas 8 cobertas e 1 nova
Canaletão	3 descobertas 3 cobertas
Cumeeira	3 descobertas 2 cobertas
Shed	1 descoberta e 1 nova

Canaletão em posição vertical	1 descoberta
Maxplac	2 descobertas 1 coberta
Maxplac coberta com material isolante	1 descoberta
Placa cimentícia (4mm de espessura)	1 descoberta 1 coberta
Placa cimentícia (6mm de espessura)	1 descoberta

... e sujeitas a diversos climas e ambientes especialmente agressivos:

- Temperatura, períodos de chuva e umidade relativa do ar variados.
- Ambiente industrial.

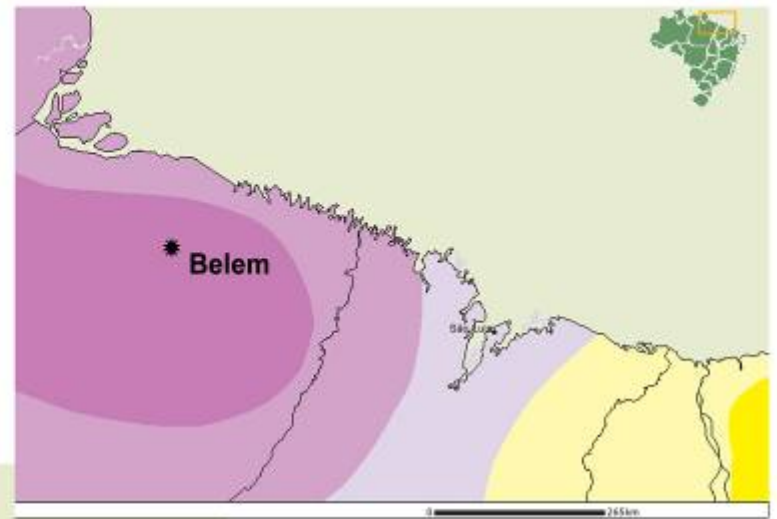
Cidades escolhidas:

Curitiba (PR), São Paulo e Osasco (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Belém (PA)



**LEGENDA**

- UF
- ★ Capital
- Climas**
- Quente-super úmido-sem seca
- Quente-super úmido-sub seca
- Quente-úmido-1 a 2 meses secos **RJ, Belém**
- Quente-úmido-3 meses secos
- Quente-semi-úmido-4 a 5 meses secos
- Quente-semi-árido-6 meses secos
- Quente-semi-árido-7 a 8 meses secos
- Quente-semi-árido-9 a 10 meses secos
- Quente-semi-árido-11 meses secos
- Subquente-super-úmido-sem seca
- Subquente-super-úmido-subseca
- Subquente-úmido-1 a 2 meses secos
- Subquente-úmido-3 meses secos
- Subquente-semi-úmido-4 a 5 meses secos
- Subquente-semi-úmido-6 meses secos
- Mesotérmico brando-super-úmido-sem seca
- Mesotérmico brando-super-úmido-subseca **Curitiba**
- Mesotérmico brando-úmido-1 a 2 meses secos **SP, Osasco**
- Mesotérmico brando-úmido-3 meses secos
- Mesotérmico brando-semi-úmido-4 a 5 meses secos
- Mesotérmico mediano-super-úmido-sem seca
- Mesotérmico mediano-super-úmido-sub seca
- Mesotérmico mediano-úmido-1 a 2 meses secos



**Fonte:**  
<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>  
 , acesso em 09/03/2006.

# Trabalhos de campo

- Os trabalhos de campo consistiram em:
  - Visitas técnicas aos locais selecionados
  - Coleta das amostras de telhas
  - Entrevistas nos locais visitados para coleta de informações sobre as edificações, especialmente àquelas relativas às telhas.

## ❖ Curitiba - PR

❖ Locais de amostragem: Terminal rodo-ferroviário, Secretaria da Saúde, Shopping Center Muller

- Clima: mesotérmico brando-super-úmido com subseca
- Fator ambiental predominante: Poluição e insolação
- Idade das telhas: de 20 a 36 anos

# Secretaria da Saúde



© 2007 MapLink/TeleAtlas  
© 2007 Europa Technologies  
Image © 2007 DigitalGlobe

© 2006 Google™

# Secretaria da Saúde



# Shopping Center Muller



# Terminal rodo - ferroviário



© 2007 Europa Technologies  
Image © 2007 DigitalGlobe



Parte interna

Parte externa



## ❖ Osasco – SP

❖ Locais de amostragem: Metalúrgica Flanaço - Forjaria, fábrica de eixos, depósito de gás, pavilhão PROACT e aciaria

- Clima: mesotérmico brando – úmido - 1 a 2 meses secos
- Fator ambiental predominante: Poluição e emissões de CO, CO<sub>2</sub> e SO<sub>x</sub>
- Idade das telhas: de 25 a 50 anos

RIO TIETÊ

Av. Nações Unidas



Rua da Estação

GÁS

PROACT

FORJARIA

EIXOS

ACIARIA

Image © 2006 DigitalGlobe

© 2005 Google

# Galpão PROACT



## ❖ São Paulo – SP



Fonte:

[www.usp.br/pc/ondeesta/  
mapaunidades/default.htm](http://www.usp.br/pc/ondeesta/mapaunidades/default.htm)  
(10.03.2006).

## ❖ Local de amostragem: IPT - Prédio 61

- Clima: mesotérmico brando – úmido - 1 a 2 meses secos
- Fator ambiental predominante: Poluição e insolação
- Idade das telhas: de 29 anos



## ❖ Rio de Janeiro - RJ

❖ Locais de amostragem: Fábrica Eternit, Depósito Crespum, Hangar do Zeppelin, Centro de Ciências da Saúde – Ilha do Fundão

- Clima: quente- úmido-1 a 2 meses secos
- Fator ambiental predominante: Salinidade e insolação
- Idade das telhas: de 20 a 70 anos

Fonte: [Google](#) Earth (07.03.2006).

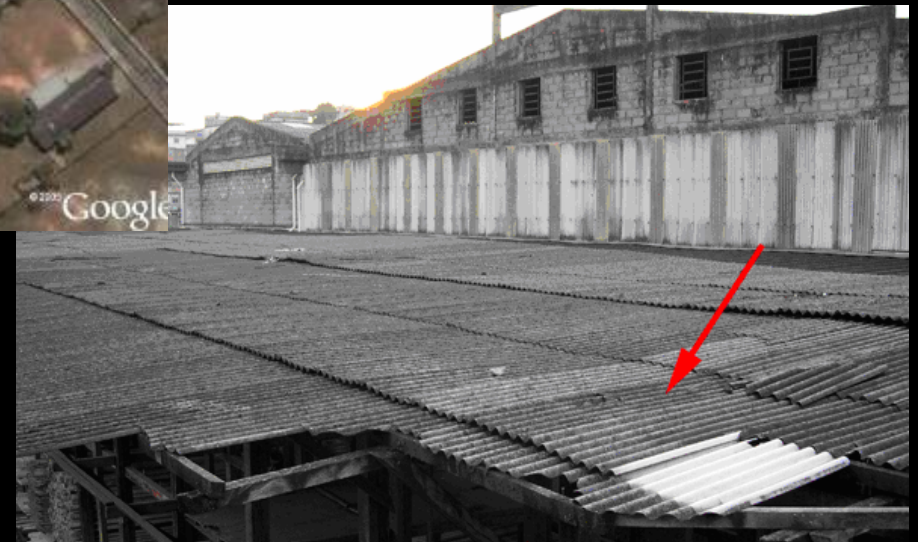
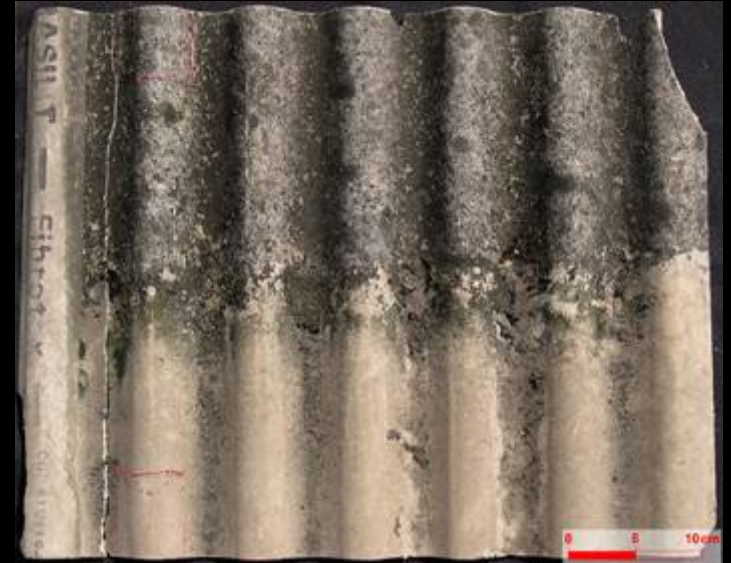


# Eternit





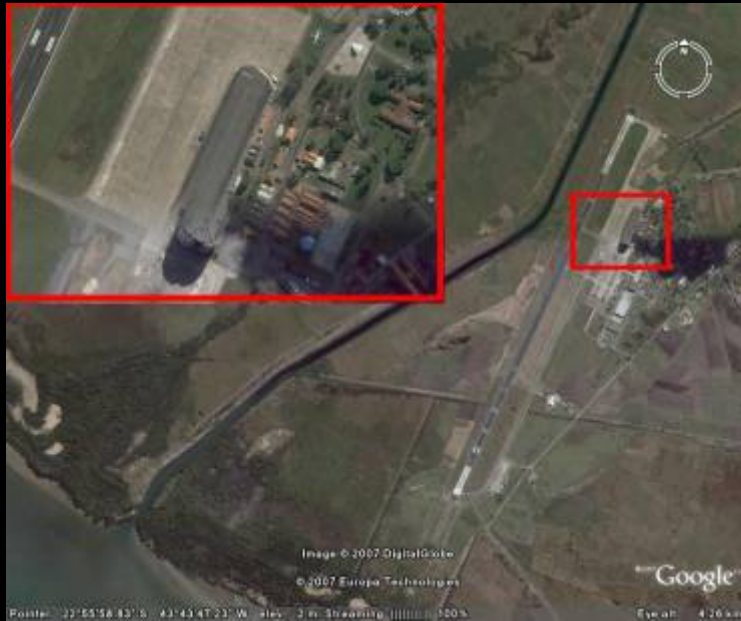
# Depósito Crespum



# Centro de Ciências da Saúde



# Hangar do Zeppelin

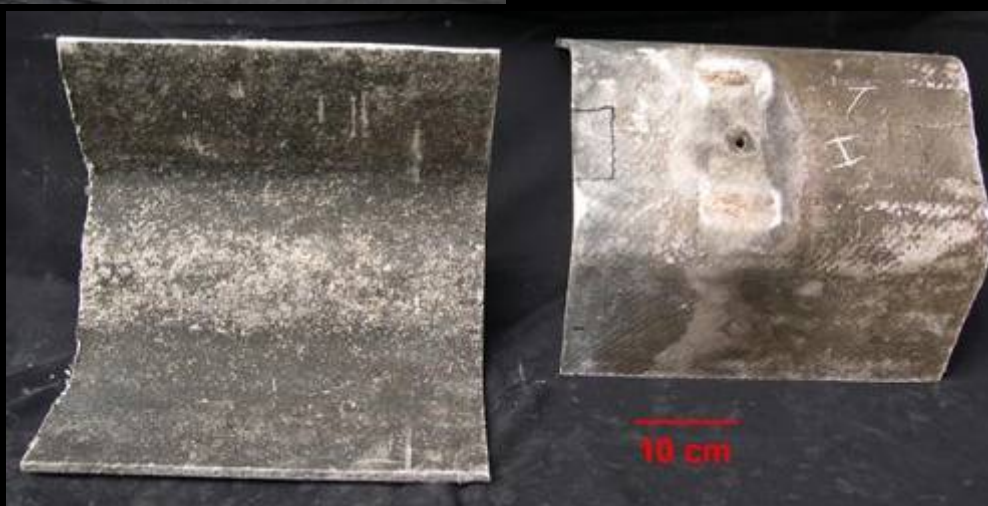


## ❖ Belém - PA

❖ Locais de amostragem: antiga fábrica da Phebo, UFPA – Campus Guamá, Lusotur, DF Impermeabilizantes, Banco do Brasil

- Clima: quente- úmido-1 a 2 meses secos
- Fator ambiental predominante: Insolação e umidade
- Idade das telhas: de 20 a 40 anos

# Phebo



# UFPA



# Lusotur

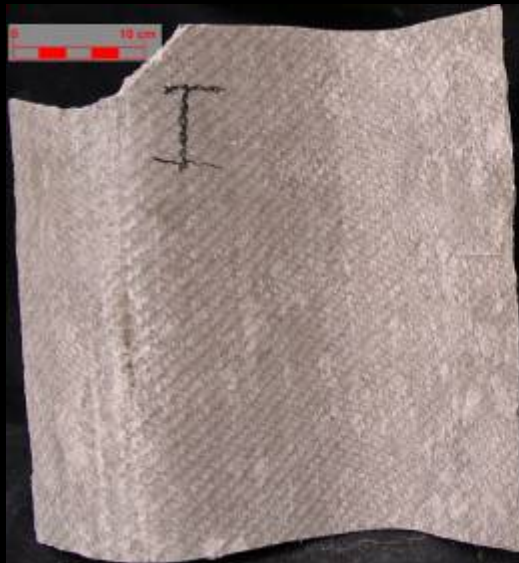


# Galpão DF impermeabilizantes





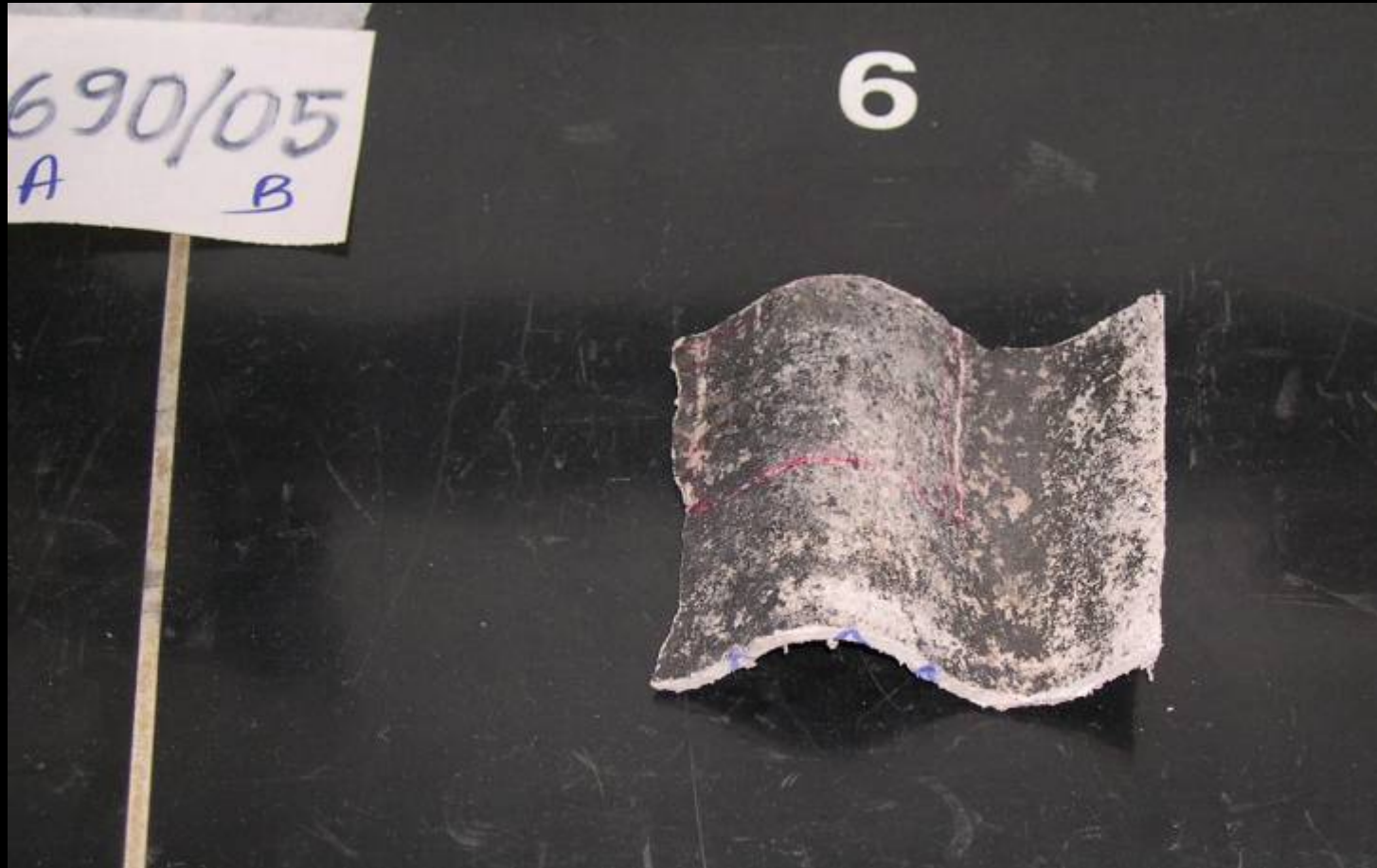
# Banco do Brasil



# ANÁLISES LABORATORIAIS

- Análise petrográfica
- Difração de raios X
- Microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva

# Análise Petrográfica



# Análise Petrográfica



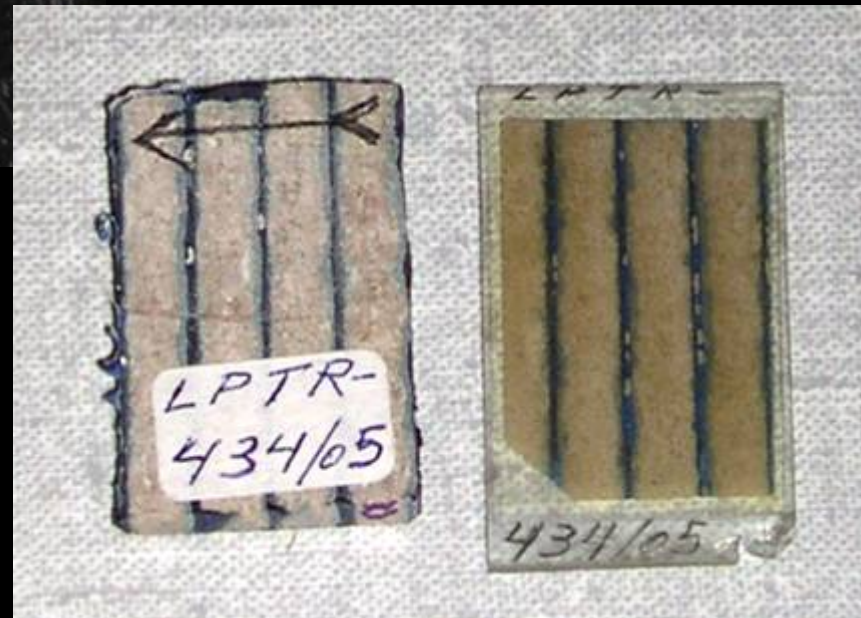
# Análise Petrográfica



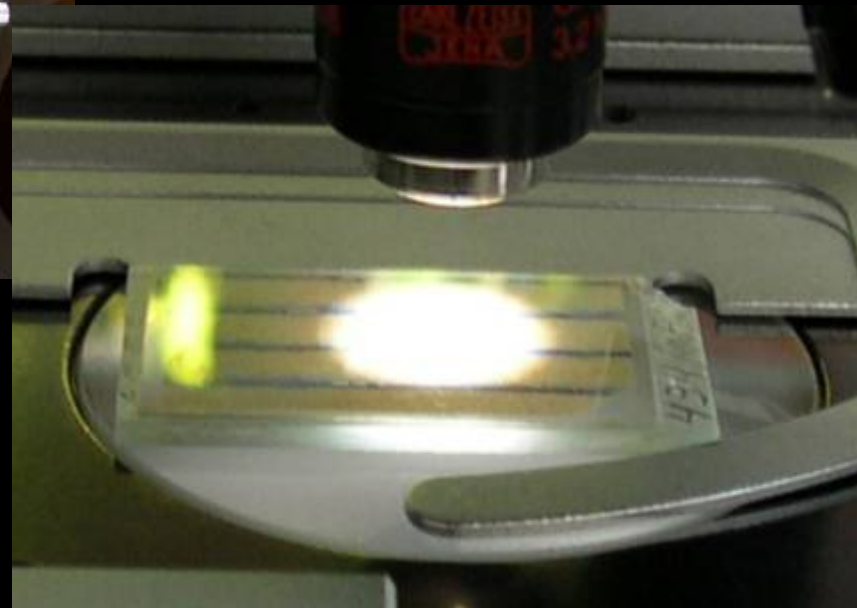
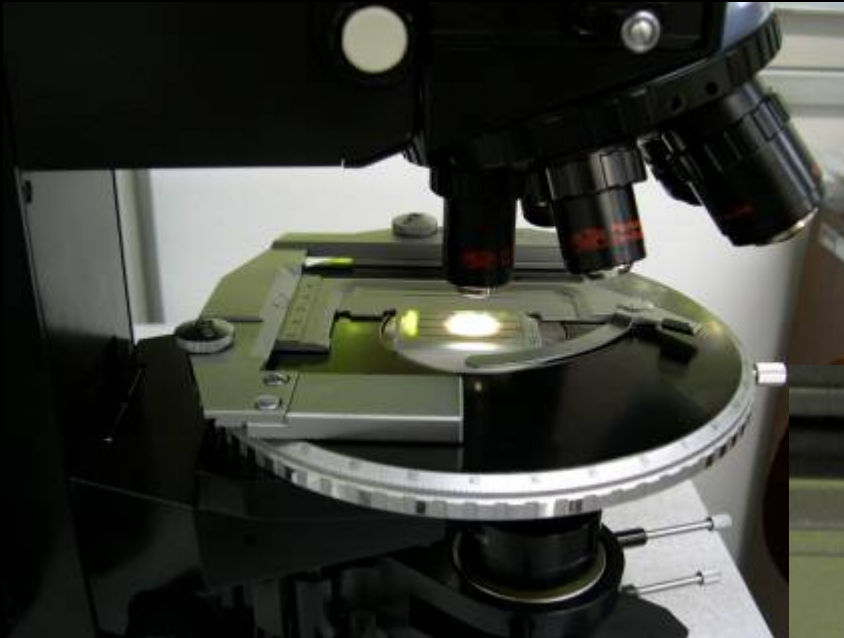
# Análise Petrográfica



Lâmina delgada



# Análise Petrográfica



## ❖ Análise Petrográfica – microscópio óptico

1. Proporção entre fases (vazios, agregado e pasta) e composição mineralógica do agregado
2. Caracterização das fases
  - Pasta: cor, perfil de alteração, minerais de cimento e clínquer
  - Agregado: tipo, interface fibra-pasta, granulometria
  - Vazios: tipo, preenchimento, tamanho
3. Zoneamento da telha:  
zona externa e interna da telha (perda de pasta, materiais superficiais, grau de liberação das fibras)
4. Fotomicrografia



## Exemplo: DF Impermeabilizantes – Belém - PA

### 1. Distribuição das fases e composição mineralógica do agregado

Local Cidade Estado	Distribuição de fases (%)				Composição mineralógica do agregado (%)						
	Pasta		Agregado	Va- zios	Cri- sotila	Fíler cal- cário	Opa- cos	Celu- lose	Vi- dro	Quart zo	Bt + Ms
	Hi- drato	Clín- quer									
DF impermeabi- lizantes Belém - PA	65-70	10- 15	15-20	<5	90-95	<5	<5	-	<5	tr	-

<sup>1</sup> Constituinte do cimento: belita

<sup>2</sup> Material isótropo a semi-isótropo, provável vidro

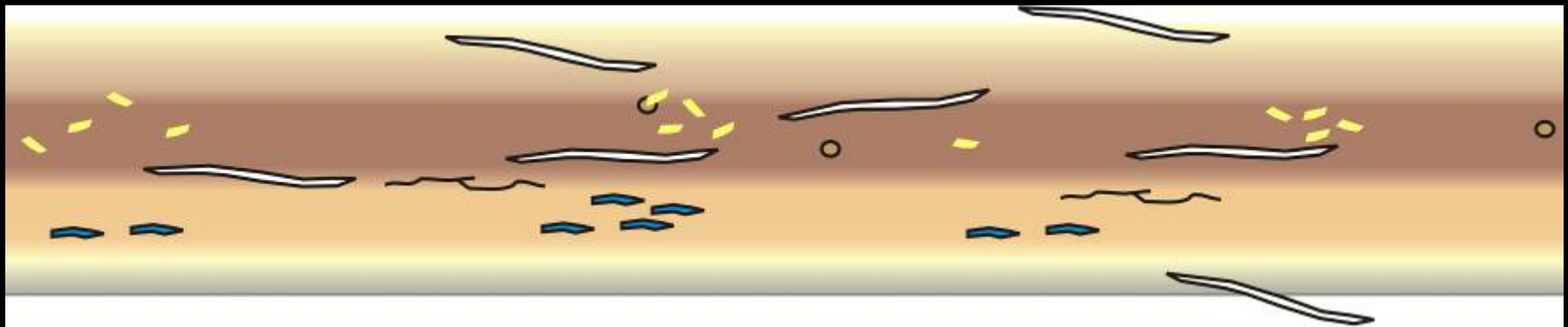
<sup>3</sup> hidróxidos/óxidos de ferro, zircão, quartzo

## 2. Caracterização das fases

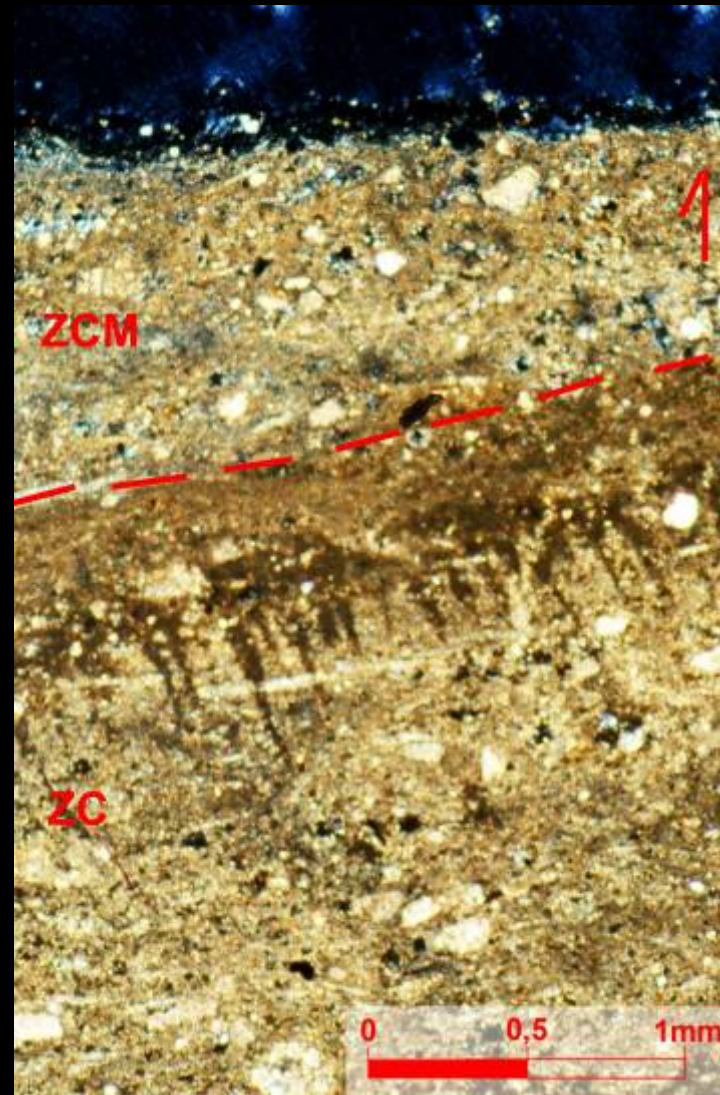
Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das fases		
		Pasta	Agregado	Vazios
DF impermeabilizantes Belém PA	Galpão – DF	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cor da pasta heterogênea, variando de clara a escura.</li> <li>- carbonatação intensa nas bordas e incipiente no centro da telha, predominantemente moderada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Granulometria: feixe de fibras de 0,05 a 2,1 mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,04 a 0,6 mm</li> <li>- Abundância de clínquer residual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- raras fissuras paralelas à superfície, na região de interface entre a porção não carbonatada e a carbonatada</li> <li>- Vazios irregulares, alinhados paralelamente à superfície, como camadas descontínuas: 0,7 mm de espessura</li> <li>- Localmente, na interface da região carbonatada e não carbonatada destacam-se prováveis vazios capilares, que separam “ilhas” de C-S-H.</li> </ul>

### 3. Zoneamento da telha por microscopia óptica

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
DF impermeabilizantes Belém PA	Galpão - DF	<p><b>Zona 1</b> (superfície externa): Zona de carbonatação. 2,16mm de espessura. Presença de regiões moderadamente carbonatadas e vazios irregulares abundantes alinhados como uma camada.</p> <p><b>Zona 2:</b> Zona não-carbonatada. 1,38mm de espessura. Abundância de clínquer. Matriz formada por C-S-H (cor escura) + clínquer, destacando-se vazios capilares.</p> <p><b>Zona 3:</b> Zona moderadamente carbonatada. 1,98mm de espessura. Alternância de faixas carbonatadas e pouco carbonatadas. Ocasionais vazios irregulares.</p> <p><b>Zona 4:</b> Zona de carbonatação. 0,69mm de espessura.</p> <p><b>Zona 5:</b> Zona de corrosão. 0,05mm de espessura. Presença de sílica gelatinizada + inertes + sujeira.</p> <p>Entre as zonas 4 e 5, a passagem é brusca e regular; já entre as zonas 1 e 4, a passagem é gradual e regular.</p> <p><b>ESPESSURA TOTAL:</b> 6,26mm</p>



## 4. Fotomicrografia



Pavilhão Phebo  
Descoberta.  
Perfil de  
alteração da  
base: Filme de  
sujeira (FS),  
zona de  
corrosão, de  
carbonatação  
microporosa e  
frente de  
carbonatação  
penetrando em  
zona já  
carbonatada.

## ❖ Difração de raios-X

1. Identificação dos minerais
2. Proporção qualitativa das fases

◆ Auxilia na detecção de minerais de difícil identificação por métodos ópticos devido a:

- baixa quantidade
- granulação muito fina
- comportamento óptico semelhante de minerais

◆ Exemplo:

Amostra	Minerais
Galpão DF LPTR 856/05	Silicato Cálcico Hidratado (C-S-H), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), crisotila ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), silicatos anidros ( $\text{C}_2\text{S}$ , $\text{C}_3\text{S}$ ), anfibólio e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ).





❖ Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

1. Análise de imagem da superfície da telha

- ◆ Imagem BEI (peso atômico) e SEI (relevo)
- ◆ identificação e caracterização das fases pela forma e textura

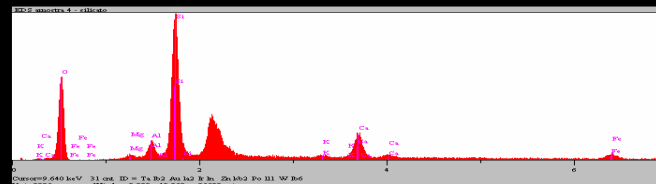
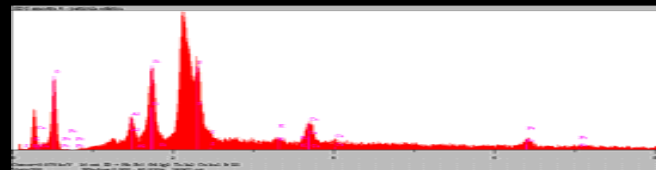
- ◆ Aspecto das fibras (sinais de alteração, aderência à matriz cimentícia)

2. Análise química semi-quantitativa de pontos e áreas

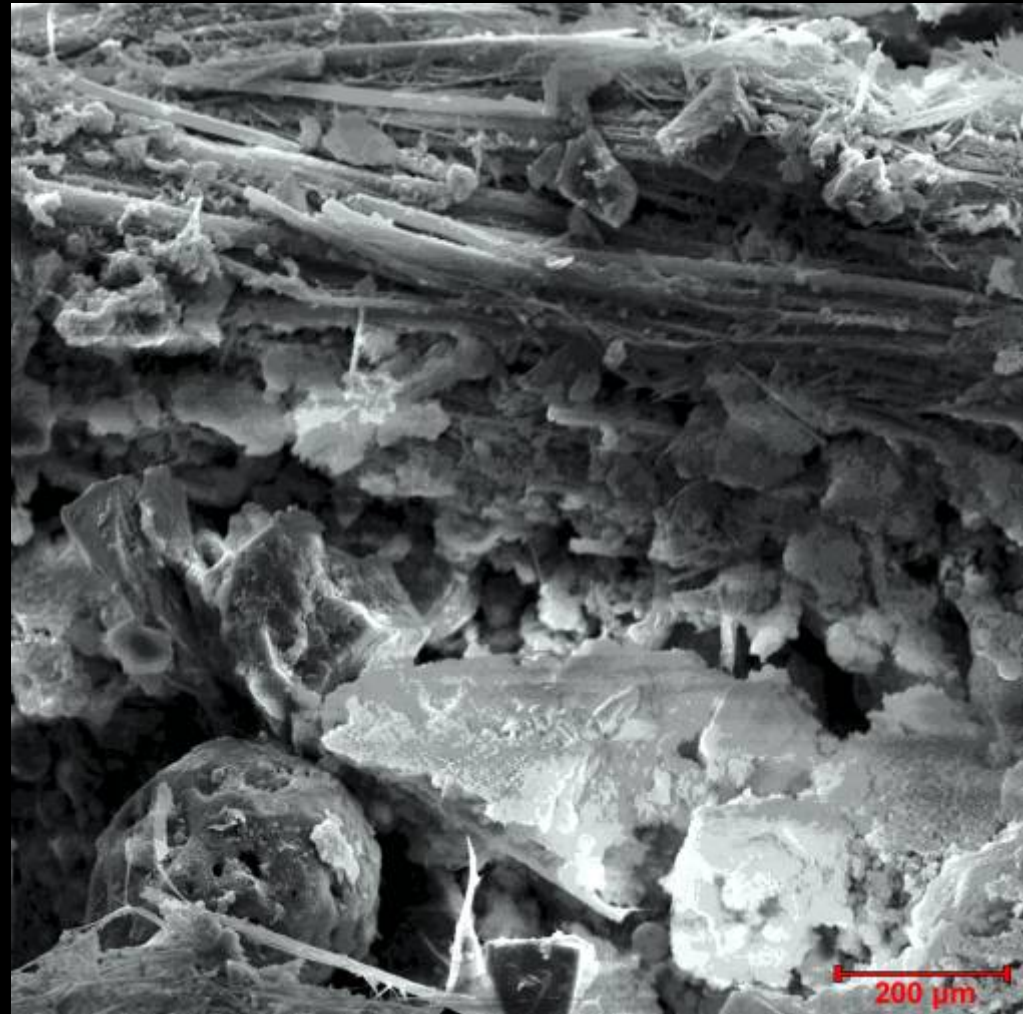
Exemplo :

◆ Fases identificadas:

- Quartzo
- Belita
- C-S-H



Am.4 – Forjaria. Imagem SEI da superfície da amostra.





**Telha Nova**



## ❖ Absorção de água

Determinação do índice de absorção de água com base no método de ensaio “ASTM Designation: C459 – 1991 – Standard Test Methods for Asbestos–Cement Flat Products”

## ❖ Ensaio químicos

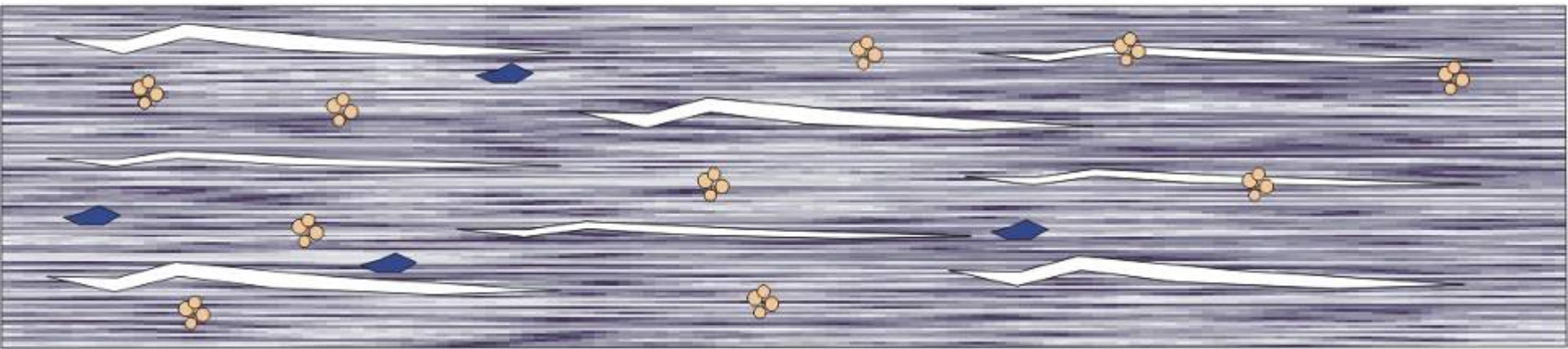
Determinação de RI, CaO Livre, SiO<sub>2</sub>, etc

# Discussão dos resultados

- A composição original da telha é muito importante no processo de alteração
- Mudanças significativas no processo produtivo podem influenciar na durabilidade da mesma:
  - composição e proporção dos agregados
  - granulometria do clínquer
  - proporção pasta : agregado
- Tipos de alteração mais significativos:
  - Mecânicos – fissuras e carreamento do material superficial
  - Biológicos – crescimento de líquen
  - Químicos – eflorescência de gipso e carbonato
  - Químico-físicos – lixiviação da pasta e liberação das fibras

# Processo químico-físico de alteração

# Telha não alterada

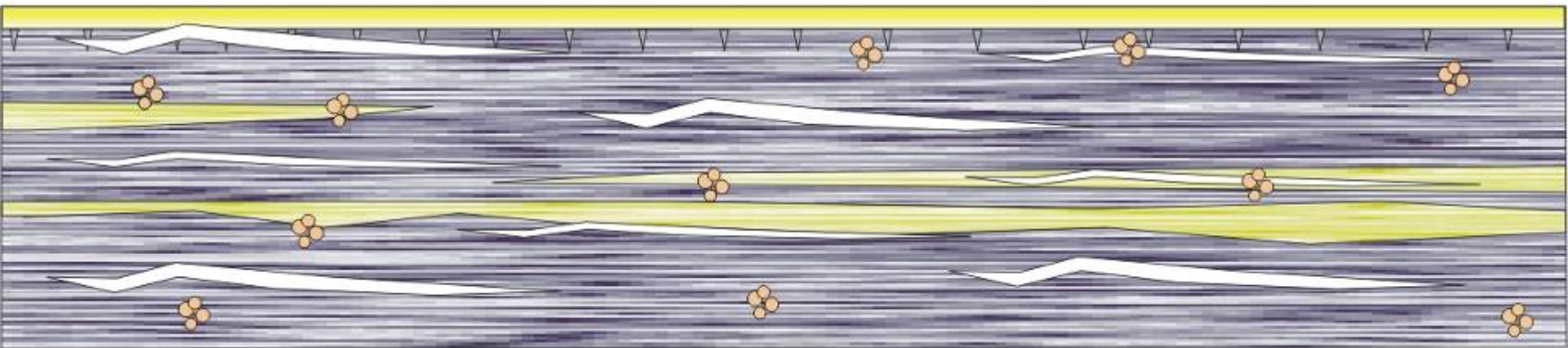


1. Lixiviação total ou parcial de portlandita
2. Carbonatação de C-S-H e portlandita (C-H) não lixiviada, conforme as reações 1 e 2:

**Reação 1:**  $\text{C-S-H} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{várias fases intermediárias} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

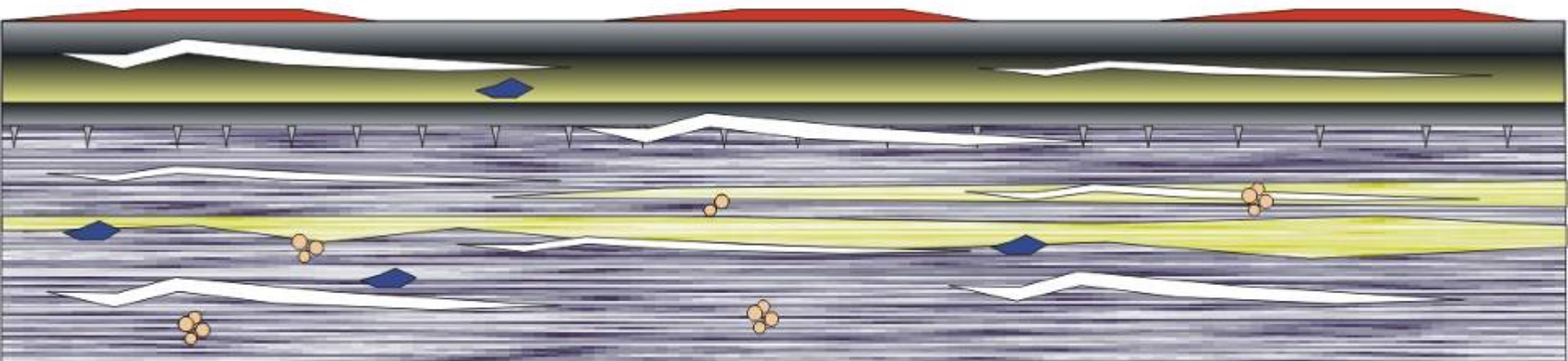
**Reação 2:**  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

## Telha pouco carbonatada



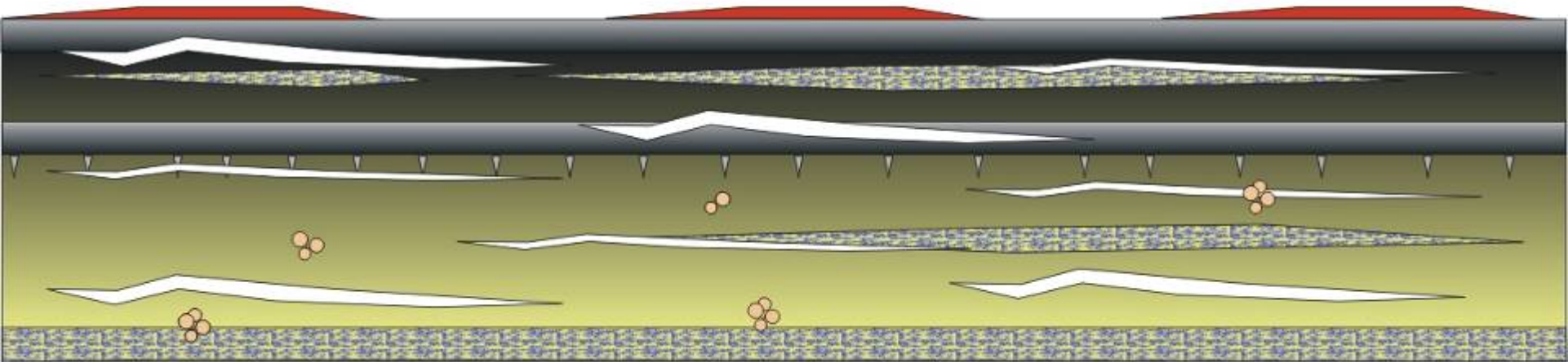
3. Dissolução do carbonato por chuvas ácidas, gerando microporosidade na pasta e alargando vazios irregulares
4. Desenvolvimento da zona de carbonatação microporosa
5. Desenvolvimento da zona de corrosão por dissolução total do carbonato e remobilização da sílica, produto da REAÇÃO 1, para as porções superficiais da telha

## Telha moderadamente carbonatada

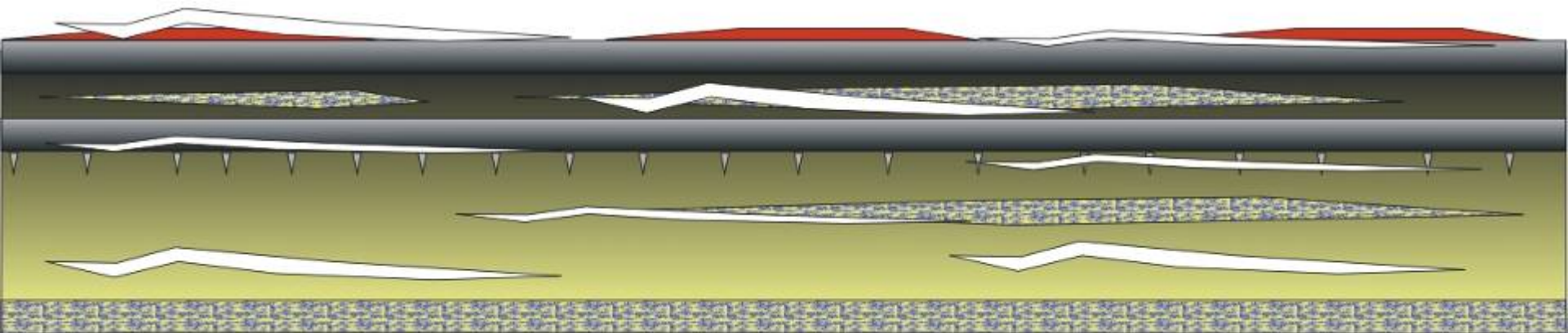


## 6. Aprofundamento da alteração

### Telha carbonatada



# Redução da espessura





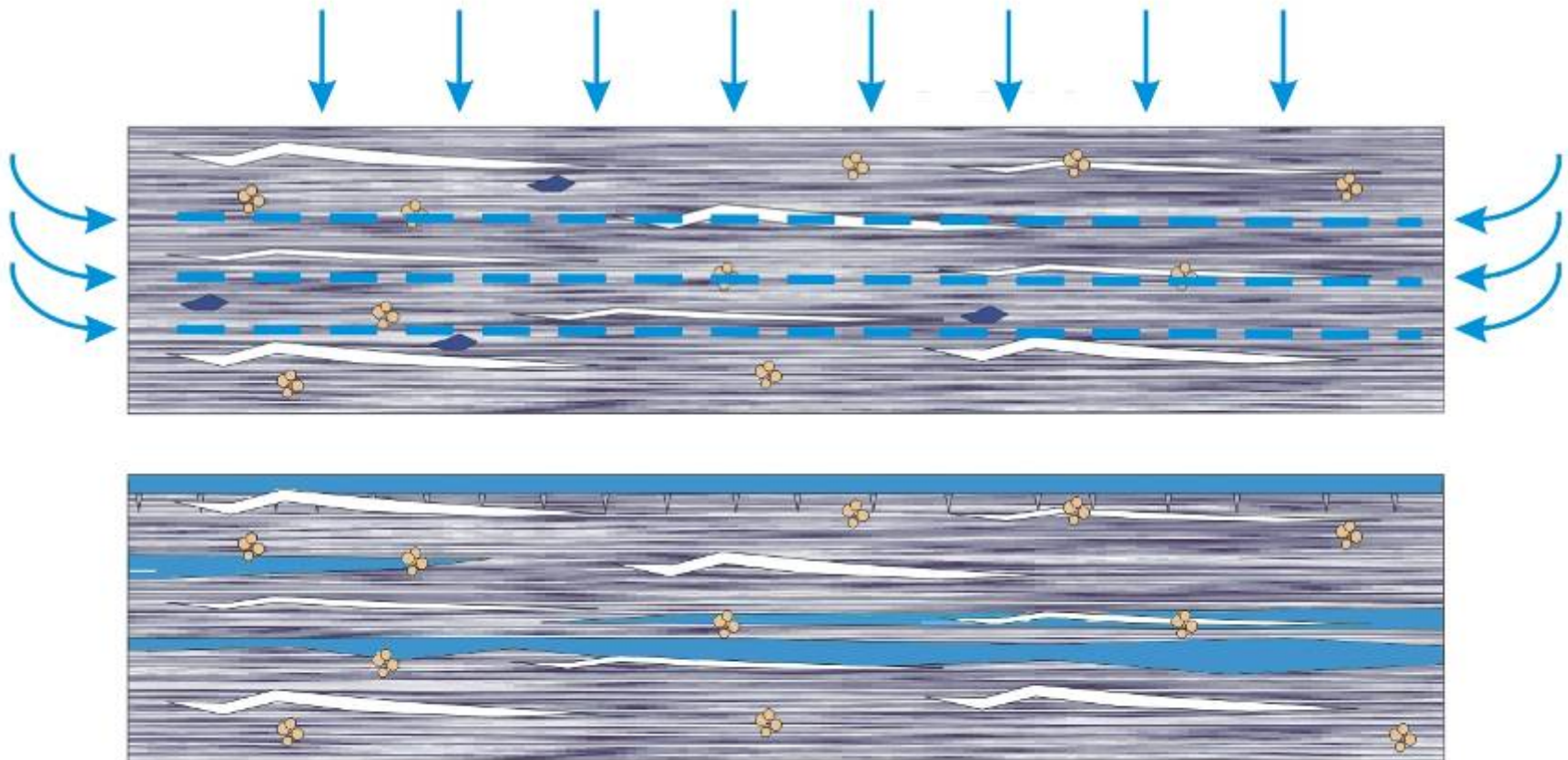
# Discussão dos resultados

- Faces externa e interna das telhas podem apresentar perfis de alteração diferentes.
- Porções das telhas sujeitas a ciclos de umedecimento e secagem mais lentos apresentam maior índice de vazios e carbonatação da pasta.

- Telhas descobertas apresentem as seguintes características:
  - Menor proporção pasta : fibra , uma vez que a pasta está mais lixiviada (resíduo insolúvel RI)
  - Zonas de corrosão mais espessas, por ser o estágio final da alteração
  - Maior porosidade (absorção d'água maior)
  - Menor quantidade de portlandita e de C-S-H, e conseqüentemente carbonatação mais intensa
- A interação entre o  $O_2$  e  $CO_2$  da atmosfera e o interior das telhas é evidenciada pela oxidação dos opacos e carbonatação da portlandita e do C-S-H

- Telhas muito carbonatadas desenvolvem cristais de calcita maiores.
- Fissuras se desenvolvem por uma soma de fatores:
  - Ruídos e vibrações
  - Sulfatação
  - Carbonatação

- Orientação preferencial das fibras gera descontinuidades para penetração de água e ar, remobilizando o carbonato e preenchendo os poros



- Os ensaios químicos revelaram um aumento do resíduo insolúvel nas telhas ao longo dos anos, evidenciando que a pasta está sendo lixiviada, entretanto as fibras permanecem no artefato por mais tempo.
- O tipo de telha não parece relacionar-se com o grau de deterioração da mesma.
- A presença de material de natureza biológica propicia o crescimento de espécies que favorecem a degradação da telha.

- A Telha Nova apresentou absorção d'água muito próxima ao limite da norma ASTM – C 1081- 1992 – *Standard Specification for Asbestos-cement Corrugated Fill for Use in Cooling Towers* e ASTM – C1082 – 1990 - *Standard Specification for Asbestos-cement Flat Sheet for Cooling Towers Fill*, que é de 25%
  - Apenas uma amostra, com cerca de 40 anos, apresentou absorção superior à da Telha Nova.

# Considerações

- A amostragem das telhas em diversas cidades do Brasil abrangeu climas frios, quentes, com diferenças bruscas de temperatura, úmidos, muito chuvosos, com época seca, sujeitos à salinidade etc. Destes fatores, o que parece afetar significativamente a durabilidade das telhas é a **umidade**.
- Macroclima e idade não se revelaram fatores preponderantes no grau de alteração das telhas por ocorrerem telhas mais antigas menos alteradas que novas e telhas sujeitas a climas supostamente mais agressivos menos alteradas que as sujeitas a climas menos agressivos

- Fatores em escala local (microclimas) são mais significativos para a deterioração e se sobrepõem aos de escala regional (clima).
- Tempo longo de exposição às intempéries não é sinônimo de telha deteriorada.
- Modificações dos processos produtivos implicam em alterações na durabilidade, evidenciada pelo fato da telha mais antiga (Hangar do Zeppelin, 70 anos) estar pouco alterada.



# Base Aérea de Santa Cruz



- Dos ambientes estudados, **o mais agressivo às telhas é o industrial**, devido a:
  - reações das emissões industriais com os minerais do cimento, formando produtos expansivos e corroendo a pasta.
  - temperatura alta
  - vibração por tráfego de veículos pesados.
- A posição vertical de instalação das telhas pode diminuir a susceptibilidade face às intempéries.
- Material biológico em telhas de todas as cidades amostradas é um fator de redução da durabilidade.

# Conclusões

- Foram caracterizadas 48 amostras de telhas de cimento-amianto, de procedências diversas, objetivando identificar e caracterizar os processos de alteração do cimento-amianto das telhas situadas em ambientes diversos, ao longo do uso. Observou-se que, de um modo geral, as telhas encontravam-se conservadas, ainda que, a amostragem tenha abrangido telhas de idades elevadas e retiradas especialmente de ambientes agressivos.

- Aspectos de degradação observados acham-se restritos às zonas superficiais da telha. Na maior parte das amostras, a alteração observada é de lixiviação da pasta, implicando em pouca liberação de fibras. Isto se deve provavelmente à forte trama formada pelo entrelaçamento das fibras de crisotila entre si e com a tobermorita.
- Os resultados apontaram a umidade e a poluição gasosa das emanações industriais como fatores importantes para a degradação do cimento-amianto.

## **EQUIPE TÉCNICA**

**Laboratório de Materiais de Construção Civil - LMCC**

**Centro de Tecnologia de Obras de Infra-estrutura**

Daniel Martins Aleixo - Químico

Eduardo Brandau Quitete – Geólogo

Eli Arruda Toledo – Técnico

Fabiano Ferreira Chotoli - Químico

Jilson Cardoso - Técnico

Maria Cecília Florindo – Química - Consultora

Mariana de Paula Souza Zuquim – Geóloga

Mario Sergio Guilge – Técnico Químico

Mírian Cruxên de Barros Oliveira – Geóloga

Pedro Carlos Bilesky – Técnico

Priscila Rodrigues Melo Leal – Geóloga

Rafael Atsushi Kanke – Bolsista

Severino Jose da Silva - Técnico

Valentim Jose da Silva Filho - Técnico

Wilma Colaço – Técnica Química

## **APOIO ADMINISTRATIVO**

Maria Lucia Félix Gonçalves - Secretária

# OBRIGADO!



Lapsphotos