

RELATÓRIO TÉCNICO N° 85 176-205 (3 Vias)

- Final-

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



Cliente: Instituto Brasileiro de Crisotila

Abril/2006

RESUMO

Este estudo teve como objetivo principal identificar e caracterizar os processos de alteração do cimento-amianto das telhas situadas em ambientes diversos, ao longo do uso. Também teve como objetivo identificar os fatores ambientais e algumas características do processo produtivo que favoreçam a degradação do cimento-amianto das telhas. Foram coletadas amostras de telhado e revestimento nas cidades de Curitiba, São Paulo, Osasco, Rio de Janeiro e Belém. Para efeito de comparação, também foi analisada uma telha nova e sem uso. Para alcançar tais objetivos, fez-se necessária também a caracterização dos produtos de alteração do cimento-amianto. Os métodos utilizados: foram análise petrográfica, difratometria de raios-X, microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva, absorção d'água e ensaios químicos. Resumidamente, as principais conclusões do trabalho são: as telhas encontram-se em bom estado de conservação; a presença de emissões gasosas e particulados revelaram-se os fatores preponderantes para a alteração das telhas; o fator climático mais importante na degradação é a umidade; a degradação acha-se restrita às camadas mais superficiais das telhas. Na maior parte das amostras a alteração observada é de lixiviação da pasta, implicando em pouca ou nenhuma liberação de fibras (o que se deve provavelmente à forte trama formada pelo entrelaçamento das fibras de crisotila). Entre os fatores climáticos o mais importante na degradação do artefato é a umidade. Telhas mais antigas, apesar de estarem mais tempo expostas, não estão necessariamente mais deterioradas, pois, possivelmente, processos produtivos e dosagem adequada, bem como matéria-prima de qualidade tenham contribuído para a sua alta durabilidade. A quantificação das fibras eventualmente liberadas será objeto de um novo estudo, em continuidade a este.

PALAVRAS-CHAVE

Degradação de cimento-amianto; crisotila; petrografia

SUMÁRIO

	P.
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Fibra – Definição e características	4
3.2 Compósitos de fibro-cimento	9
3.2.1 Cimento-amianto	11
3.2.2 Fabricação dos produtos de cimento-amianto	15
3.3 Degradação do cimento-amianto	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1 Introdução	18
4.2 Materiais	20
4.3 Métodos	21
4.3.1 Trabalhos de campo	21
4.3.1.1 Osasco – SP	23
4.3.1.2 São Paulo - SP	30
4.3.1.3 Rio de Janeiro – RJ	33
4.3.1.4 Belém - PA	43
4.3.1.5 Curitiba - PR	52
4.4 Análises e ensaios	58
4.4.1 Análise Petrográfica	58
4.2.2 Análise Mineralógica por difratometria de raios-X	59
4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva ...	59
4.2.4 Absorção d'água	61
4.2.5 Ensaio químicos	61
5 RESULTADOS OBTIDOS	61
5.1 Análise petrográfica	61
5.2 Análise Mineralógica por difratometria de raios-X	62
5.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia de energia dispersiva (EDS)	62
5.4 Absorção d'água	62

5.5 Ensaio químicos	62
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	62
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
8 CONCLUSÕES	76
EQUIPE TÉCNICA	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXO A - Análise petrográfica (Tabelas 1 a 3 e Figura 1) (25 págs.)	81
ANEXO B - Fotomicrografias (Fotos 1 a 82) (26 págs.)	106
ANEXO C - Análise Mineralógica por difratometria de raios-X (4 págs.)	133
ANEXO D - Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva (59 págs.)	138
ANEXO E - Absorção d'água (1 pág.)	187
ANEXO F - Relatório de Ensaio N° 938 288-203 (4 págs.)	189

RELATÓRIO TÉCNICO Nº 85 176-205 (3 Vias)**- Final -****ESTUDO DAS ALTERAÇÕES DAS TELHAS DE
CIMENTO-AMIANTO AO LONGO DO USO, PELA EXPOSIÇÃO ÀS
INTEMPÉRIES****1 INTRODUÇÃO**

Atendendo aos termos da proposta Nº 30 867, de 08.09.2004, o antigo Laboratório de Petrologia e Tecnologia de Rochas – LPTR do Agrupamento de Engenharia de Rochas – AER, da Divisão de Geologia – Digeo, hoje Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC deste Instituto, efetuou a caracterização petrográfica e mineralógica em 30 amostras de telhas de cimento-amianto, que resultaram em 45 sub-amostras. Foram feitos também ensaios químicos e ensaios de absorção d'água em algumas amostras.

Os locais de amostragem, designação completa e abreviada das amostras, bem como seus números de registro no laboratório estão resumidos no QUADRO 1.

Local	Sub-amostras	Abreviação	LPTR	Nº Lâmina IPT
Flanaço Osasco SP	Shed Am-1.1 Proact	Am-1.1 Proact	320/05	10.507
	Telha Am-1.2 Proact	Am-1.2 Proact	321/05	10.508
	Am-2 Depósito de gás	Am-2 Gás	322/05	10.509
	Am-3 Aciaria	Am-3 Aciaria	323/05	10.510
	Am-4 Forjaria	Am-4 Forjaria	324/05	10.511
	Am-5.1 Fábrica de eixos	Am-5.1 Eixos	325/05	10.512
	Am-5.2 Fábrica de eixos	Am-5.2 Eixos	326/05	10.513
Curitiba PR	Telha Nova	Nova	378/05	10.514
IPT São Paulo SP	Telha IPT 1977	IPT	433/05	10.678

(Continua)

Quadro 1 - Locais de amostragem, designação completa e abreviada das amostras e números de laboratório.

(Continuação)

Local	Sub-amostras	Abreviação	LPTR	Nº Lâmina IPT
Refeitório Eternit Rio de Janeiro RJ	Telha ondulada refeitório Eternit Coberta	Ondulada refeitório Coberta	688/05 A	10.668 A
	Telha ondulada refeitório Eternit Descoberta	Ondulada refeitório Descoberta	688/05 B	10.668 B
	Cumeeira do refeitório Eternit Coberta	Cumeeira refeitório Coberta	689/05 A	10.669 A
	Cumeeira do refeitório Eternit Descoberta	Cumeeira refeitório Descoberta	689/05 B	10.669 B
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Telha ondulada (4mm) depósito Crespum - RJ Coberta	Crespum Coberta	690/05 A	10.670 A
	Telha ondulada (4mm) depósito Crespum - RJ Descoberta	Crespum Descoberta	690/05 B	10.670 B
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Telha canaletão (8mm) Centro de ciências da saúde Coberta	Saúde - RJ Coberta	691/05 A	10.671 A
	Telha canaletão (8mm) Centro de ciências da saúde Descoberta	Saúde - RJ Descoberta	691/05 B	10.671 B
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar do Zeppelin Escurecida Coberta Preta	Hangar 1	750/05 A	10.616 A
	Hangar do Zeppelin Escurecida Descoberta Amarela	Hangar 2	750/05 B	10.616 B
	Hangar do Zeppelin Escurecida Coberta Amarela	Hangar 3	750/05 C	10.616 C
	Hangar do Zeppelin Amarelada Coberta	Hangar 4	751/05 A	10.617 A
	Hangar do Zeppelin Amarelada Descoberta	Hangar 5	751/05 B	10.617 B
	Hangar do Zeppelin Cinza Coberta	Hangar 6	752/05 A	10.618 A
	Hangar do Zeppelin Cinza Descoberta	Hangar 7	752/05 B	10.618 B

(Continua)

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

(Continuação)

Local	Sub-amostras	Abreviação	LPTR	Nº Lâmina IPT
Fábrica Phebo Belém PA	Pavilhão de recebimento - Fábrica Phebo Coberta	Pavilhão Phebo Coberta	849/05 A	10.641 A
	Pavilhão de recebimento - Fábrica Phebo Descoberta	Pavilhão Phebo Descoberta	849/05 B	10.641 B
	Setor de embalagens - Fábrica Phebo	Embalagens - Phebo	850/05	10.642
	Setor de embalagens - Fábrica Phebo Coberta	Embalagens - Phebo Coberta	851/05 A	10.643 A
	Setor de embalagens - Fábrica Phebo Descoberta	Embalagens - Phebo Descoberta	851/05 B	10.643 B
UFPA Belém PA	Passarela PB bloco de salas de aula - UFPA Coberta	Passarela PB UFPA Coberta	852/05 A	10.644 A
	Passarela PB bloco de salas de aula - UFPA Descoberta	Passarela PB UFPA Descoberta	852/05 B	10.644 B
	Bloco PB - sala P1 - bloco salas de aula - UFPA	PB - P1 - UFPA	853/05	10.645
	Passarela bloco da Química (QB) - bloco de salas de aula - UFPA Coberta	QB - UFPA Coberta	854/05 A	10.646 A
	Passarela bloco da Química (QB) - bloco de salas de aula - UFPA Descoberta	QB - UFPA Descoberta	854/05 B	10.646 B
	Passarela bloco da Química (QB) - bloco de salas de aula - UFPA Descoberta quebrada	QB - UFPA Quebrada	854/05 C	10.646 C
LUSO Tour Belém PA	Estacionamento - LUSO Tour Coberta	LUSO Tour Coberta	855/05 A	10.647 A
	Estacionamento - LUSO Tour Descoberta	LUSO Tour Descoberta	855/05 B	10.648 B
DF impermeabilizantes Belém PA	Galpão - DF impermeabilizantes	Galpão - DF	856/05	10.649
Banco do Brasil Belém PA	Carga e descarga de mercadoria - Banco do Brasil	Mercadoria - BB	857/05	10.650 A
	Depósito - Banco do Brasil	Depósito BB	858/05	10.650 B
Rodoviária Curitiba PR	Rodoviária Curitiba Coberta	Rodoviária Ctba Coberta	859/05 A	10.651 A
	Rodoviária Curitiba Descoberta	Rodoviária Ctba Descoberta	859/05 B	10.651 B

(Continua)

(Continuação)

Local	Sub-amostras	Abreviação	LPTR	Nº Lâmina IPT
Secretaria de Saúde Curitiba PR	Secretaria de Saúde Curitiba	Saúde Curitiba	860/05 A	10.652
Shopping Muller Curitiba PR	Shopping Muller Coberta	Muller Coberta	861/05 A	10.653 A
	Shopping Muller Descoberta	Muller Descoberta	861/05 B	10.653 B

2 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo principal identificar e caracterizar os processos de alteração do cimento-amianto das telhas situadas em ambientes diversos, ao longo do uso. Também teve como objetivo identificar os fatores ambientais e algumas características do processo produtivo que teriam favorecido a degradação do cimento-amianto das telhas. Para alcançar tais objetivos, fez-se necessário também a caracterização dos produtos de alteração do cimento-amianto.

A quantificação das fibras eventualmente liberadas no processo de degradação das telhas não pôde ser executada nesse estudo, pois necessitava ser precedido da identificação das condições reais de alteração das telhas e dos fatores de degradação ao longo do uso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Algumas considerações teóricas a respeito dos minerais formadores do grupo do amianto, especialmente a crisotila, dos compósitos de fibro-cimento, bem como, especificamente, de cimento-amianto, são importantes para entender os processos por meio dos quais poderia se dar a eventual liberação do amianto presente nas telhas de cimento-amianto.

3.1 Fibra – Definição e características

O texto transcrito abaixo foi retirado de OLIVEIRA (1996):

“Segundo o dicionário de Aurélio Buarque de Holanda Ferreira, fibra pode ser definida como ‘cada uma das estruturas alongadas que, dispostas em feixes, constituem tecidos animais e vegetais ou certas substâncias minerais’”.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Outra definição e aspectos das fibras são apresentados por SKINNER, ROSS, FRONDEL (1988), a saber:

O termo fibra era originalmente referido a substâncias produzidas biologicamente, como algodão ou fibra muscular. Hoje o termo é aplicado a muitas substâncias e qualquer porção alongada de matéria pode ser chamada de fibra, independente da sua origem ou composição. Fibras podem ser biológicas ou não biológicas, orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas.

As fibras inorgânicas mais comuns e certamente mais familiares são as fibras minerais conhecidas como asbestos. Muitos minerais têm sido explorados como asbestos. São largamente distribuídos na natureza, mas sua exploração só é economicamente viável quando ocorrem como agregados fibrosos contínuos (veios ou vênulas) cortando maciços rochosos. Esses veios ou vênulas são constituídos de fibras capilares ordenadas paralelamente que, numa observação mais minuciosa, apresentam-se encurvadas. Assim, o termo mineralógico asbestiforme tem sido usado para descrever esse subtipo de materiais inorgânicos.

Há uma relação que acomoda o largo espectro de tamanhos de fibras e é independente da composição ou constituição da fibra ou do material fibroso: o "aspect ratio", ou seja, a relação entre o comprimento e o diâmetro da partícula, e que pode ser calculado ou estimado com relativa facilidade.

Quando a razão comprimento/diâmetro (aspect ratio) de uma partícula é ≥ 10 , mineralogistas usam o termo fibra. Abaixo de 10, termos como colunar ou prismático são usados, e quando esta razão é 1, o termo equidimensional é aplicado. Se uma fibra tem diâmetro menor que alguns poucos micrômetros, mineralogistas podem enfatizar sua fineza com o termo "fino-fibroso". Partículas com diâmetros de poucos milímetros devem ser examinadas no microscópio. Microscópio eletrônico de varredura é requerido para se identificar fibrilas com diâmetros de alguns poucos angstroms ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ou $0,1\text{nm}$).

Em qualquer resolução, o aspect ratio pode ser estimado ou medido como parte da identificação de uma fibra.

As propriedades superficiais das fibras são influenciadas pela composição do material, pelo ambiente reinante durante seu crescimento ou sua geração, e a "história" da partícula. O termo "história" se refere a algumas trocas na superfície após a formação da fibra. A carga ou distribuição de carga afeta as reações de uma fibra.

A resistência de um material depende de sua estrutura cristalina e das ligações interatômicas no composto. A direção de alongamento da fibra é freqüentemente a direção de crescimento, do alinhamento paralelo das unidades químicas poliméricas, ou, em fibras cristalinas, uma direção especial no ordenamento tridimensional.

A deformação ("strain") desenvolvida no material em resposta às forças externas pode ser aliviada por simples deslocamento, translação, alongamento (estiramento, por exemplo) ou uma combinação de distorções. O tipo de resposta é influenciado pela razão com que a força é aplicada, bem como pela composição e cristalinidade do sólido.

Medir a resistência ao curvamento de uma fibra - na verdade, quantificar sua flexibilidade - é um procedimento mais complicado. Um lado da curva está sob tensão e o lado oposto, sob compressão. As reações de uma partícula sólida fibrosa dependem, não obstante, da composição química e da estrutura cristalina do material, bem como da disposição das forças durante a flexão, e de qualquer tipo de fenômeno superficial que o material possa apresentar.

A grande superfície específica das fibras finas pode contribuir significativamente para a resistência mecânica. Superfícies podem prover uma zona estrutural ou química distinta onde as tensões são dissipadas. Uma estrutura de superfície distintamente diferente da estrutura do núcleo foi descoberta por exame óptico de algumas fibras (WOODS 1955 apud SKINNER, ROSS, FRONDEL, 1988). Cones invertidos desenvolvidos nas pontas de fibras de vidro e de asbestos submetidos a ataque químico sugerem que a superfície da fibra é mais resistente quimicamente que o interior (HRAPKA 1977,1978, apud SKINNER, ROSS, FRONDEL, 1988)."

- **Características principais**

Amianto e asbesto são termos genéricos aplicados a silicatos fibrosos naturais de diferentes composições químicas, que se apresentam em muitos tipos e texturas, variando desde uma fibra longa, macia e sedosa, com uma orientação definida dos cristais, até uma massa de fibras curtas, duras e quebradiças, sem orientação dos cristais. A cor dos diferentes tipos de amianto varia do branco ao cinza-esverdeado, marrom-amarelado ou azul e o brilho pode ser sedoso ou nacarado.

As variedades de amianto dividem-se em dois grandes grupos, de acordo com sua composição química e estrutura cristalina: o grupo das serpentinas e o grupo dos anfibólios (SANTOS, 1975). As pertencentes ao grupo dos anfibólios, que se caracterizam por fibras duras, retas e pontiagudas, são: antofilita, amosita, crocidolita, tremolita e actinolita. Seus usos são limitados por serem fracas e quebradiças (antofilita e tremolita), ou ainda por não possuírem valor comercial com viabilidade econômica (actinolita). Muito utilizados até os anos 70, os anfibólios asbestiformes estão atualmente em desuso, por causa de seus efeitos sobre a saúde.

- **Propriedades físicas e químicas**

Há diferenças fundamentais entre as fibras de anfibólio e as de crisotila. A crisotila é excessivamente pequena na seção transversal (18 η m a 30 η m) e tem estrutura tubular, enquanto os anfibólios são muito maiores na seção transversal, parecendo lâminas estreitas, e suas fibras são menos simétricas que as de crisotila. Em geral, os anfibólios são duros, ásperos e elásticos, e não tão flexíveis e dúcteis como a crisotila (WINSON, 1975 e MANN, 1983, *apud* OLIVEIRA, 1996).

A crisotila é um mineral do grupo das serpentinas, corresponde a 98,5% de todo o amianto consumido no mundo. Suas fibras são curvas e sedosas, e seus efeitos na saúde humana são diferenciados e menos significativos do que os dos outros tipos de amianto (CHURG, 1988).

O amianto é usado, principalmente, como fibra de reforço. Sua resistência à tração é, assim, de suma importância. A avaliação das propriedades de resistência é dificultada pelo pequeno comprimento das fibras e seus pequenos diâmetros (SPEIL, LEINWEBER, 1969, *apud* OLIVEIRA, 1996).

Enquanto a resistência à tração é a propriedade intrínseca mais importante dos asbestos, sua superfície específica é o parâmetro mais importante para sua aplicação industrial.

A importância da superfície específica dos diversos tipos de asbestos é evidenciada pela influência direta que ela exerce nas propriedades de capacidade de adsorção e absorção (umidade, gases, aerossóis, etc.), ação filtrante, habilidade de

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

absorver pigmentos, resistência a ácidos e outras substâncias químicas, como reforçador em agentes aglutinantes e de ligação, orgânicos e inorgânicos, na habilidade dielétrica, como amortecedor e abafador de som, como escudo termal, na utilização em técnicas especiais de combate à poeira, e nos processos de separação de partículas por sedimentação numa corrente fluida (BERGER, 1963, *apud* OLIVEIRA, 1996).

Todas as variedades de asbestos se “quebram” progressivamente através de uma série de reações internas que podem começar a temperaturas desde 200°C. Isso não significa que suas propriedades como isolantes térmicos diminuem; pelo contrário, esta propriedade ablativa faz com que o produto de decomposição de uma camada pobremente condutora isole as camadas sucessivas [HODGSON (1979), *apud* OLIVEIRA (1996)]. Ainda segundo o autor, no caso específico da crisotila, a decomposição térmica segue dois estágios de desidroxilação e quebra. Entre 600° a 780°C dá-se a desidroxilação, e entre 800° e 850°C os anidridos se quebram, numa transformação brusca para forsterita e sílica.

Curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica mostram uma perda de massa gradual entre 100° e 600°C, e uma perda brusca acima de 600°C, com a desidratação total, somando aproximadamente 13% de água. Num estudo de crisotilas do Canadá, HODGSON (1979), *apud* OLIVEIRA (1996), observou três estágios de desidratação: entre 100° a 500°C, com perda de 1% de H₂O; entre 500° a 700°C, com perda de 10% a 13% de H₂O; e entre 700° e 900°C, e acima, com perda de 1% de H₂O. A desidratação total alcança entre 12% a 15,5% para 16 espécimes analisados.

Uma composição teórica da crisotila, baseada em considerações estruturais, mostra que 9,75% de H₂O, o equivalente a 3(OH)⁻, sobra na camada de hidroxila externa, com 3,25% de H₂O, equivalente a 1(OH)⁻, na camada de hidroxila interna. HODGSON (1979), *apud* OLIVEIRA (1996) conclui então que a desidratação média da crisotila está relacionada com a ruptura da camada de hidroxila externa, e a soma de perdas abaixo de 600°C e acima de 700°C, aos grupos de hidroxilas remanescentes.

As propriedades superficiais dos dois grupos de asbestos, anfíbolios e serpentinas, são totalmente diferentes. A crisotila tem uma camada superficial predominante de hidroxila, conectada a uma camada interna adjacente de magnésio. É esperado que esses sítios alcalinos exerçam uma atividade superficial forte, ou por solução parcial ou por atração de íons de carga oposta.

O comportamento eletrocinético da crisotila é outra manifestação da sua camada superficial de magnésio, e está intimamente relacionado ao pH. O ponto isoelétrico da crisotila é 11,8; em valores de pH mais baixos, a carga superficial é positiva; acima do ponto isoelétrico, a carga fica negativa (HODGSON, 1979) *apud* OLIVEIRA (1996).

Em contraste com os anfibólios, BERGER (1963), *apud* OLIVEIRA (1996) percebeu que devido à razão $\text{SiO}_2/\text{MgO} = 1$, a crisotila perde praticamente toda sua resistência na perda máxima de massa, e conseqüentemente, pode ser designada como não-resistente aos ácidos.

O trabalho realizado por BADOLLET (1963) *apud* OLIVEIRA (1996) demonstrou que os ácidos atacam rapidamente o magnésio da crisotila, restando a maior parte da estrutura de sílica. Ácidos orgânicos agem mais lentamente que os inorgânicos, mas em altas concentrações ambos reagem de maneira similar.

Já os estudos de BERGER (1963), *apud* OLIVEIRA (1996) demonstraram que a perda de massa como resultado da ação de álcalis cáusticos varia de 1% a 15% na crisotila, 6% a 7% na amosita, e 1% a 2% em outros anfibólios asbestos.

A maior parte do amianto consumido no Brasil e no mundo é empregado nas indústrias de fibro-cimento e materiais de fricção. Isso inclui chapas planas e corrugadas, telhas, telhados e coberturas, calhas, tubulação e encanamento pressurizado capaz de suportar pressões hidráulicas acima de 12,5 atm. Esses produtos normalmente contêm de 10% a 15% de fibras, cuja principal função é agir como reforçador do cimento.

Produtos de fibro-cimento têm, em geral, massas específicas entre 1,60 e 2,0 g/cm³. São apropriados para revestimentos e coberturas externas, mas não são resistentes a choques termais a temperaturas acima de 800°C. Esses produtos também apresentam uma condutividade térmica relativamente alta (HODGSON, 1979) *apud* OLIVEIRA (1996).

3.2 Compósitos de fibro-cimento

Fibro-cimento é um material 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 (OLIVEIRA 1996).

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido a partir da moagem conjunta do clínquer e pequena porcentagem de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. O clínquer é um material sólido, granulado, constituído essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, sendo o componente mais importante do cimento Portland. É obtido da mistura de calcário, argila e agentes mineralizadores ou corretivos da composição, como bauxita, minério de ferro etc., que submetidos a altas temperaturas (da ordem de 1450°C) sinterizam-se formando nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro (Mehta e Monteiro, 1994).

O cimento Portland é constituído em mais de 90% por: silicato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{SiO}_3 = \text{C}_3\text{S}$); silicato dicálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$); aluminato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$); aluminoferrita tetracálcica ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$) e sulfato de cálcio ($\text{CaO}.\text{SO}_4$).

As fases do cimento Portland em contato com água, sofrem reações químicas em solução e no estado sólido, as quais constituem a chamada “pega” e endurecimento do cimento Portland hidratado. Nessas reações químicas formam-se compostos sólidos e cristalinos, com cristais de morfologia alongada ou acicular e lamelar; o entrecruzamento desses cristais, tridimensionalmente, gera uma resistência mecânica muito grande de compressão que permite obter boas propriedades ligantes em compósitos como argamassas, concretos, cimento-amianto e outros produtos fabricados com cimento Portland (KIYOHARA, 1991).

A matriz de cimento Portland possui as seguintes funções:

- a) fornecer um meio pelo qual a carga ou solicitação externa seja aplicada à fase forte, isto é, mecanicamente resistente; o que se dá pelo atrito entre as fibras;
- b) separar as fibras individuais e evitar que uma trinca se propague da superfície da peça até atingir a fase forte;
- c) proteger a superfície dessas fibras, de forma que o atrito e a abrasão das fibras entre si sejam reduzidos, não afetando a sua elevada resistência à tração (KIYOHARA, 1991).

As principais propriedades mecânicas dos materiais reforçados com fibras podem ser explicadas a partir das características de sua microestrutura. Pelo estudo da microestrutura obtém-se a resposta para a influência do tipo de fibra, idade de hidratação e relação água-cimento, e de como esses fatores devem ser corretamente definidos, para

uma dosagem racional do compósito a ser empregado na prática (SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN, 1994).

Um fator relevante no comportamento de compósitos de fibra embebida em matriz cimentícia é a aderência, propriedade fundamental na correlação entre a transferência de esforços na junta fibra-matriz e as propriedades mecânicas do compósito.

A zona ou auréola de transição é a região da pasta de cimento próxima à fibra, com espessura que varia de 10µm a 100µm, e que apresenta propriedades diferenciadas do restante da matriz (MINDESS *et al.*, 1986, *apud* SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN, 1994). A maior aderência fibra-matriz, por sua vez, é obtida por meio do melhor desempenho da zona de transição, conforme mostraram os estudos de MORRISON, SHAH, JENQ (1988) *apud* SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN, 1994. Os principais indicadores para modificação da zona de transição são as reduções da porosidade e da concentração de portlandita [MASSAZZA, COSTA (1986) *apud* SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN, 1994].

As eventuais descontinuidades, dentro de uma fase ou entre fases, tais como poros ou fissuras, interferem tanto no comportamento mecânico quanto na durabilidade do material. É o caso dos compósitos fibrosos, em que o aumento da aderência interfacial pode reverter-se em ganho na resistência mecânica, na durabilidade e, dentro de certos limites, na ductilidade. SAVASTANO JR, DANTAS, AGOPYAN (1994) alertam para o fato de que quantificar a participação da zona de transição nas propriedades dos compósitos é difícil, pois outros fatores importantes, tais como, o tipo de fibra e de aglomerante, interagem no sentido de modificar o material. Além disso, muitas técnicas adotadas para otimizar a zona de transição acabam por melhorar o desempenho do compósito como um todo.

3.2.1 Cimento-amianto

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.

O amianto industrializado é enviado para as indústrias de cimento-amianto compactado em sacos; sendo posteriormente “aberto” ou “desagregado” ou “desfibrado”

em equipamento próprio; em seguida, é misturado com o cimento Portland e água, para posterior processamento no fabrico de peças de cimento-amianto.

Desde a extração na mina, até a mistura com o cimento Portland e água, na fábrica de produtos de cimento-amianto, o amianto crisotila é submetido apenas a operações unitárias, isto é, a operações industriais de natureza puramente física.

Estudando as fraturas nos compósitos de cimento-amianto submetidos a uma determinada carga AKERS, GARRETT (1983) *apud* OLIVEIRA (1996) observaram que geralmente o relaxamento local da deformação tende a ocorrer depois que a fibra é arrancada. Esta constatação coincide com um dos mecanismos apresentados por BRYANS, LINCOLN (1971) *apud* OLIVEIRA (1996) para explicar como se dá a fratura num feixe de fibrilas de crisotila.

AKERS, GARRET (*op.cit.*) *apud* OLIVEIRA (1996) concluíram, através de estudos realizados com auxílio de microscópio eletrônico de varredura, que o processo de quebra no cimento-amianto indica extensivas e múltiplas fraturas, com uma interação complexa de microfraturas e fissuras de dimensões e distribuição variadas. O arrancamento fibrilar é o principal mecanismo, embora a separação interfibras e fraturas também sejam observadas. Apesar da grande variação na relação comprimento/diâmetro dos feixes de fibras ("aspect ratios"), e dos complexos efeitos da orientação das mesmas, existe boa concordância entre os valores de tração e flexão, previstos e medidos.

Das observações sobre a natureza e comportamento da zona interfacial das fibras de crisotila com a matriz de cimento, sob carga, AKERS, GARRETT (1983) *apud* OLIVEIRA (1996) concluíram que o descolamento e arrancamento de fibras no cimento-amianto envolvem uma combinação complexa de mecanismos de fratura. O valor do cisalhamento interfacial, portanto, deve ser visto como uma combinação tanto de descolamento interfacial (primariamente através da falha da matriz adjacente à interface), como de separação interfibra.

Muitos trabalhos experimentais têm sido feitos nos últimos anos enfocando particularmente os compósitos de cimento-amianto e a interface do cimento com a fibra de amianto. SAVASTANO JR. (1992) efetuou estudos na zona de transição entre fibras (vegetais, amianto crisotila, polipropileno) e a matriz da pasta de cimento Portland comum, e inter-relacionou suas principais características com as propriedades mecânicas

dos compósitos produzidos, com ênfase ao aspecto da aderência fibra-matriz, durabilidade dos compósitos e análise de sua microestrutura. Os compósitos foram analisados com várias idades e relação água-cimento constante e vice-versa. A zona de transição (estudada por microscopia eletrônica de varredura e análises por espectroscopia de raios-X) apresentou-se diferenciada do restante da matriz, por sua maior porosidade, maior concentração de macrocristais de portlandita e microfissuras.

Segundo aquele autor, a maior aderência fibra-matriz é obtida por meio do melhor desempenho da interface. Além das fibras, os responsáveis pelo melhor desempenho dos compósitos (no sentido de aumentos na resistência à tração e ductilidade) são a proporção adequada de agregados e da relação água-cimento, com o fim de aumentar a resistência da aderência na zona de transição.

No seu estudo comparativo SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN (1994) constataram que as fibras de amianto, apesar do pequeno comprimento ($\cong 5$ mm) e baixa porcentagem em volume com que foram empregadas (1%), conferiram ao compósito resistência à tração significativamente maior que as registradas para as demais fibras testadas, devido à estrutura fibrilada da crisotila, que aumenta a aderência com a matriz e, também, porque a zona de transição gerada, além de pouco porosa, tem pequena espessura ($\cong 5$ μ m).

No entanto, investigações realizadas por AKERS, GARRETT (1983) *apud* OLIVEIRA (1996) mostraram que no cimento-amianto, não há evidência de uma zona estruturalmente mais fraca adjacente à interface enriquecida em hidróxido de cálcio, ao contrário de outros compósitos fibrosos. KIYOHARA (1991) estudou a crisotila bruta e o cimento-amianto, do ponto de vista morfológico e de estrutura cristalina, através das técnicas de microscopia eletrônica de transmissão, difração eletrônica de área selecionada, microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de raios X por energia dispersiva e difração de raios-X. Deu ênfase à interface do cimento Portland com a superfície da fibra de amianto-crisotila na tentativa de explicar cientificamente a alta resistência mecânica do cimento-amianto, verificando que, exatamente no contato das fibras e fibrilas do amianto crisotila com a pasta de cimento Portland, formam-se 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 que estão, ao mesmo tempo, inseridos,

imbricados e/ou entrecruzados com as pilhas de cristais lamelares de tobermorita (e também de portlandita e de aluminatos de cálcio hidratados) da matriz da pasta endurecida de cimento Portland. Portanto, esses monocristais 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. Ainda segundo este autor, a aderência da superfície maior dos cristais lamelares de tobermorita à superfície das fibras/fibrilas de crisotila é tão boa, porque existe grande semelhança entre a estrutura cristalina de ambos componentes (de argilominerais ou filossilicatos), crisotila e tobermorita, conferindo a elas um excelente poder de ligação (FIGURA 1).

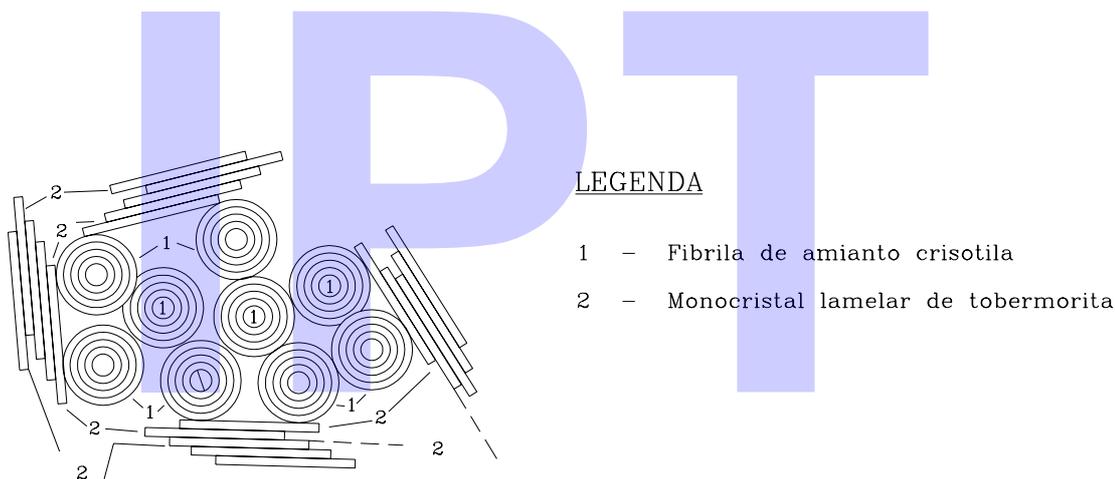


Figura 1 - Esquema de um corte transversal de feixes de fibrilas de crisotila, tendo cristais de tobermorita aderidos à superfície cilíndrica, pelas faces planas (vistas transversalmente) (KIYOHARA, 1991).

Segundo AKERS, GARRET (1983) *apud* OLIVEIRA (1996) o processo de desfibramento a que são submetidas as fibras de amianto para confecção de cimento-amianto pode resultar em mudança no potencial zeta das fibras, e aumentar a adsorção de moléculas de água pelos feixes de fibras. Juntamente com o aumento significativo da superfície específica, avaliável pela adsorção de água na região interfacial, dá-se um enriquecimento em hidróxido de cálcio durante o processo de hidratação.

3.2.2 Fabricação dos produtos de cimento-amianto

Segundo HUNENBERG, (1971) *apud* KIYOHARA, (1991), o cimento-amianto foi patenteado por Louis Hatschek em 1901.

O processo industrial de fabricação de produtos de cimento-amianto, por via-úmida, utiliza equipamento semelhante ao equipamento de fabricação de papel e segue as seguintes etapas:

- a) o amianto crisotila é retirado dos sacos de material plástico oriundos da mina e as fibras são separadas, mecanicamente, em fibrilas, procurando-se evitar ao máximo, a redução do comprimento das mesmas;
- b) as fibras “abertas” são misturadas com cimento Portland comum em um misturador do tipo “Holandesa” usado na indústria de celulose e papel. Atualmente adiciona-se filer calcário e celulose à mistura. A proporção normal, em massa, é de 12% a 15% de crisotila em relação ao cimento Portland; as partículas de crisotila e de cimento Portland, ao se misturarem, aderem umas às outras de forma que é impossível, após alguns minutos, separar a crisotila do cimento (ROSATO, 1971 *apud* KIYOHARA, 1991);
- c) a água adicionada à mistura cimento e amianto deve ser bastante pura, não deve conter matéria orgânica, nem possuir sais dissolvidos; geralmente utiliza-se água com pH alcalino, reciclada das prensas e formas onde são conformadas as peças. A relação ponderal água/cimento deve ser maior que 0,4, necessária para iniciar o primeiro estágio da reação do cimento Portland com água (HUNENBERG, 1968 *apud* KIYOHARA, 1991). A alcalinidade da água pode ser assegurada juntando-se CaCO_3 à mistura de cimento com amianto;
Geralmente utiliza-se 90% a 95% de água e 10% a 5% de cimento + amianto (VOROBYEV, 1965 *apud* KIYOHARA, 1991);
- d) após a mistura das matérias-primas, inicia-se o primeiro estágio onde as partículas e a água reagem quimicamente;
- e) faz-se a filtração da suspensão da mistura cimento + amianto + água, em filtros-prensas, reduzindo a relação água/cimento a um valor igual a 0,3

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

(HUNENBERG, 1968 *apud* KIYOHARA, 1991) para iniciar o 2º estágio ou período dormente, em que a mistura está “plástica”;

- f) ocorre a recristalização da etringita ($C_6AS_3H_{32}$);
- g) reiniciam-se as reações químicas entre as partículas de cimento e água;
- h) as fibrilas do amianto crisotila adsorvem o hidróxido de cálcio formado nas diversas reações químicas, o qual se cristaliza na superfície das mesmas, formando ligações do tipo “ponte de hidrogênio” com as hidroxilas das folhas de brucita superficiais das fibrilas, formando sítios para a fixação desses cristais. Essa cristalização de hidróxido de cálcio acelera as reações químicas de endurecimento do cimento Portland, e aumenta a resistência mecânica do mesmo após a pega completa (VOROBYEV, 1965 *apud* KIYOHARA, *op.cit.*);
- i) termina o processo de cura, finalizando, assim, a produção de peças constituídas pelo material compósito cimento-amianto.

3.3 Degradação do cimento-amianto

SARKAR; JOLIQUEUR; KHORAMI (1987) estudaram as transformações físicas e químicas ocorridas em telhas de cimento-amianto após 2 anos de exposição natural em água rica em sulfato, utilizando uma combinação de técnicas analíticas e microestruturais. As análises mostraram que a causa primária de degradação e delaminação da telha de cimento-amianto é a formação de cristais de gipso, que é acompanhada de um aumento substancial de volume (expansão). Aparentemente, a carbonatação, que produz cristais de calcita ou vaterita, é um mecanismo de degradação secundário.

A degradação do cimento-amianto pode ser de origem mecânica, química ou biológica.

A degradação mecânica, ou quebra, é o reflexo da baixa resistência ao impacto do cimento-amianto. A quebra, quando não por impacto ou excesso de carga, pode ocorrer através da percolação de soluções químicas, que podem provocar a cristalização de minerais secundários, gerando expansão e tensões (WOODS, 2000).

Fatores químicos são de origem extrínseca ou intrínseca. Quando o agente é externo, sua origem é considerada extrínseca e reflete-se em alterações superficiais. Alterações pervasivas refletem alterações intrínsecas, devidas a substâncias e propriedades incorporadas à mistura do cimento-amianto, mesmo que tenha ocorrido uma

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

intensificação do processo por fatores externos. Estas alterações podem gerar descoloração, transformações mineralógicas com perda de resistência mecânica e erosão da superfície (WOODS, 2000).

A descoloração do cimento amianto é um reflexo da ação de raios ultravioletas (UV) e sub-produtos gerados por reações químicas (WOODS, 2000), que causam perda de resistência e queda da durabilidade do material.

O processo de eflorescência também ocorre devido à exposição ao ambiente, tendo como produto a cristalização de minerais. Estes produtos secundários tendem a ser removidos pela chuva e pela ação da exposição ao tempo (WOODS, 2000).

Alterações cristaloquímicas, como carbonatação, se desenvolvem por fatores extrínsecos, podendo ser benéficas ou deletérias, conforme sua velocidade de reação e profundidade. Se fatores intrínsecos como fator de água/cimento, porosidade e cura forem bem controlados, alterações no volume do cimento podem torná-lo menos poroso, portanto menos susceptível à percolação de fluidos, e mais compacto, melhorando seu desempenho.

Outra alteração que pode ocorrer é o ataque por ácidos. Carbonatos e sulfatos de cálcio são sub-produtos da matriz atacada por ácido sulfúrico e carbônico, resultando em um aumento da porosidade, fissuras dadas por tensões geradas por cristalização de sais e remoção da matriz, com conseqüente liberação das fibras de crisotila (SPURNY, 1988).

Já a degradação biológica ocorre principalmente em materiais que se encontram à sombra das árvores, favorecendo o crescimento de fungos, musgos e algas e estimulando a deterioração e manchamento da superfície, assim como o aparecimento de outras espécies mais deletérias (WOODS, 2000). Lembra-se que ácidos orgânicos, apesar de mais fracos que os inorgânicos, podem ser tão deletério quanto estes para as fibras.

Assim, o cimento-amianto se intemperiza devido a uma soma de fatores intrínsecos e extrínsecos, que agem tanto na matriz como nas fibras (SPURNY, 1988). A matriz do cimento pode alterar-se para uma fina camada de gipso, que posteriormente pode ser dissolvida e lavada pela chuva ácida, liberando as fibras de amianto antes inseridas na matriz. A quantidade de fibras longas liberadas para o ambiente varia em função da poluição do local: aqueles mais poluídos geram uma maior taxa de degradação do produto.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Segundo SPURNY (1988), a exposição das fibras à chuva ácida por um período longo (meses a anos) leva a uma lixiviação de $48 \pm 25\%$ de magnésio, e outros cátions em quantidade pequena. Esta mudança química acarreta em alterações cristalográficas, entretanto o potencial carcinogênico da crisotila permaneceria igual. O autor coletou o material liberado das telhas por sucção, separou as fibras e, para as determinações cristaloquímicas, utilizou métodos de microscopia eletrônica e espectroscopia de massa.

Em resumo, num cimento-amianto inalterado, as fibras de crisotila apresentam forte aderência à matriz cimentícia, conforme estudos de AKERS, GARRETT (1983), *apud* OLIVEIRA (1996) e de KIOHARA (1991). No entanto, após sofrerem processos de alteração, parte das fibras poderiam se desprender na matriz cimentícia (WOODS, 2000 e SPURNY, 1988). O presente estudo foca o que acontece no cimento-amianto quando submetidas a agentes agressivos ao longo dos anos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Introdução

Este projeto desenvolveu-se em duas etapas. Na primeira, foram definidos os critérios para amostragem e efetuada uma pesquisa bibliográfica sobre amianto, cimento-amianto e degradação dos produtos de cimento-amianto. Na segunda etapa do projeto iniciaram-se as visitas dos locais selecionados e as coletas das amostras. Nessa etapa também foram definidos e efetuados os ensaios e análises nas amostras coletadas. A relação das amostras estudadas e os ensaios e análises encontram-se no QUADRO 2.

Local Cidade Estado	Sub-amostras	Ensaio e análises efetuados						
		Análise Petrográfica	Difração de raios-X		Microscopia eletrônica de varredura	Absorção d'água	Ensaio químicos*	
			Total	Fuligem				
			E	I				
Flaço Osasco SP	AM-1.1 Proact	●	◇	●	◇	◇	◇	◇
	Am-1.2 Proact	●	◇	●	◇	◇	◇	◇
	Am-2 Gás	●	◇	●	◇	◇	◇	◇
	Am-3 Aciaria	●	◇	●	◇	◇	◇	◇
	Am-4 Forjaria	●	◇	●	●	●	◇	◇
	Am-5.1 Eixos	●	◇	●	◇	●	◇	◇
	Am-5.2 Eixos	●	◇	●	◇	◇	◇	◇

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Sub-amostras	Ensaio e análises efetuados						
		Análise Petrográfica	Difração de raios-X		Microscopia eletrônica de varredura	Absorção d'água	Ensaio químicos*	
			Total	Fuligem				
				E	I			
Curitiba PR	Nova	●	●	◇	◇	●	●	●
IPT São Paulo SP	IPT	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇
Refeitório Eternit Rio de Janeiro RJ	Ondulada refeitório Coberta	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Ondulada refeitório Descoberta	●	●	●	◇	●	◇	◇
	Cumeeira refeitório Coberta	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Cumeeira refeitório Descoberta	●	●	●	◇	◇	◇	◇
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Crespum Coberta	●	●	◇	◇	◇	●	●
	Crespum Descoberta	●	●	●	◇	●	●	●
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Saúde - RJ Coberta	●	●	◇	◇	◇	●	●
	Saúde - RJ Descoberta	●	●	●	◇	◇	●	●
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar 1	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Hangar 2	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	Hangar 3	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	Hangar 4	●	●	◇	◇	◇	●	●
	Hangar 5	●	◇	◇	◇	◇	●	●
	Hangar 6	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Hangar 7	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇
Fábrica Phebo Belém PA	Pavilhão Phebo Coberta	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Pavilhão Phebo Descoberta	●	●	●	●	●	◇	◇
	Embalagens - Phebo	●	●	●	●	●	◇	◇
	Embalagens - Phebo Coberta	●	●	◇	◇	◇	●	●
	Embalagens - Phebo Descoberta	●	●	●	●	◇	●	●

(Continua)

Quadro 2 - Análises e ensaios realizados nas amostras de telhas de cimento-amianto.
(Continuação)

Local Cidade Estado	Sub-amostras	Ensaio e análises efetuados						
		Análise Petrográfica	Difração de raios-X		Microscopia eletrônica de varredura	Absorção d'água	Ensaio químicos*	
			Total	Fuligem				
				E	I			
UFPA Belém PA	Passarela PB UFPA Coberta	•	•	◇	◇	◇	•	•
	Passarela PB UFPA Descoberta	•	•	•	◇	◇	•	•
	PB - P1 - UFPA	•	•	•	◇	◇	◇	◇
	QB – UFPA Coberta	•	•	◇	◇	◇	◇	◇
	QB – UFPA Descoberta	•	•	•	◇	◇	◇	◇
	QB – UFPA Quebrada	•	•	◇	◇	◇	◇	◇
LUSO Tour Belém PA	LUSO Tour Coberta	•	•	◇	◇	◇	◇	◇
	LUSO Tour Descoberta	•	•	•	◇	◇	◇	◇
DF impermeabiliz antes Belém PA	Galpão - DF	•	•	•	•	◇	◇	◇
Banco do Brasil Belém PA	Mercadoria - BB	•	•	•	◇	◇	◇	◇
	Depósito BB	•	•	◇	◇	◇	◇	◇
Rodoviária Curitiba PR	Rodoviária Ctba Coberta	•	•	•	◇	◇	◇	◇
	Rodoviária Ctba Descoberta	•	◇	•	◇	◇	◇	◇
Secretaria de Saúde Curitiba PR	Saúde Curitiba	•	•	•	◇	◇	◇	◇
Shopping Muller Curitiba PR	Muller Coberta	•	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	Muller Descoberta	•	•	•	◇	◇	◇	◇

* Teor de umidade, perda ao fogo, CO₂, CaO Livre, RI (1+50), CaO, SiO₂, MgO

• Efetuada

◇ Não efetuada

A descrição da amostragem e dos pontos de coleta encontra-se no item 4.1 e a dos ensaios e análises efetuadas estão relacionadas no item 4.2.

4.2 Materiais

Na escolha dos materiais para estudo, utilizou-se como critério tipos representativos de telhas e/ou materiais de revestimento, conforme apresentado no QUADRO 3.

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

Quadro 3 - Relação dos tipos de telhas estudadas.

4.3 Métodos

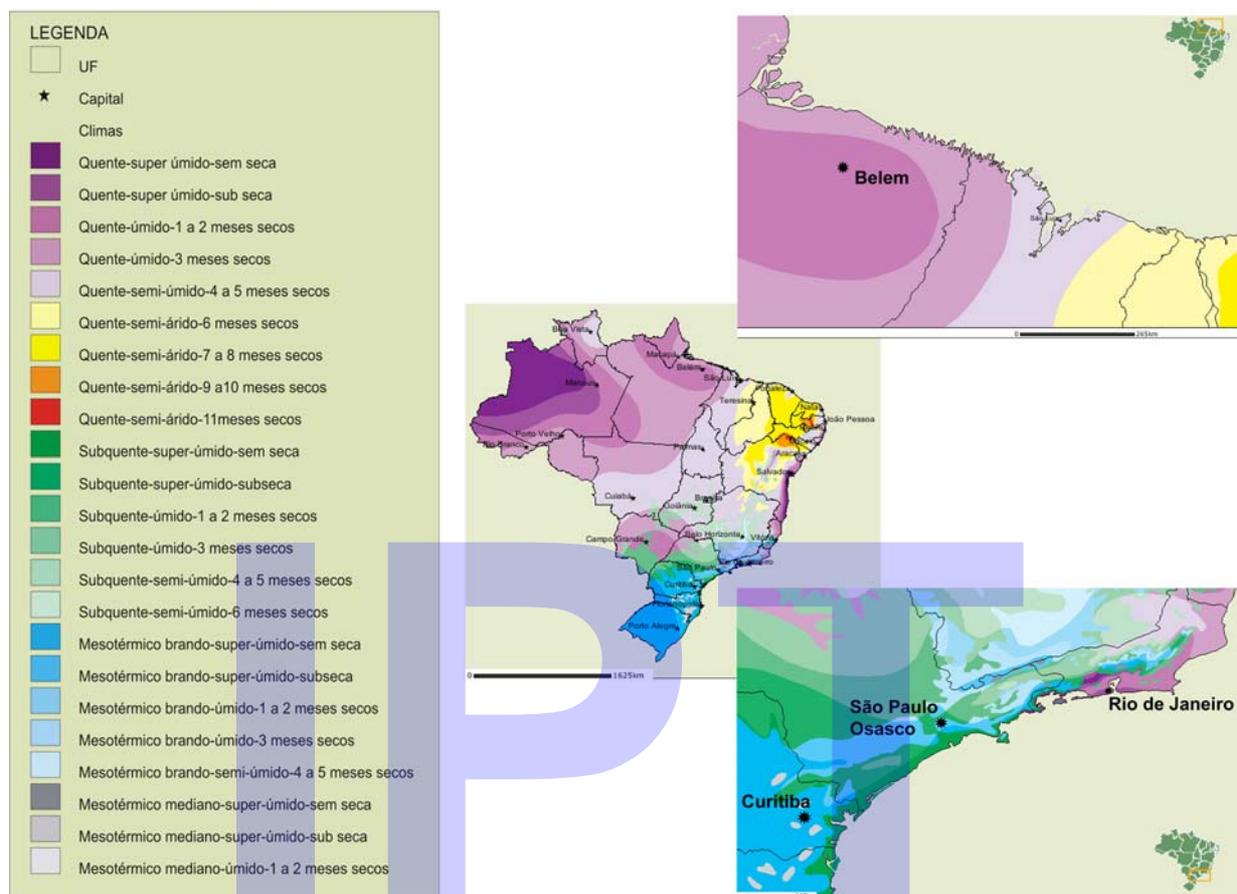
As atividades executadas consistiram em trabalhos de campo e de laboratório.

4.3.1 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo consistiram em:

- Visitas técnicas aos locais selecionados
- Coleta das amostras de telhas
- Entrevistas com funcionários das empresas visitadas para coleta de informações sobre as edificações visitadas, especialmente àquelas relativas às telhas.

O primeiro critério de seleção dos locais de amostragem foi o clima. Procuraram-se cidades com temperaturas, períodos de chuva e umidade relativa do ar variados para avaliar se os fatores climáticos influenciariam na taxa e no tipo de degradação das telhas de cimento-amianto. Assim, as cidades escolhidas para amostragem foram Curitiba (PR), São Paulo e Osasco (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Belém (PA). Os climas das cidades escolhidos para amostragem estão ilustrados na FIGURA 2.



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

Figura 2 - Climas do Brasil.

Dentro destes climas, procuraram-se locais que apresentassem fatores conhecidamente agressivos para o cimento, tais como zonas industriais, grandes centros urbanos poluídos, sujeitos a vibrações e exposição direta ao sol ou ricos em aerossóis marinhos. Quando da presença destes fatores, considerou-se que há microclimas. Para efeito comparativo, foi estudada também uma amostra de telha nova, sem uso.

A descrição da amostragem encontra-se separada por local. As condições ambientais dos locais amostrados acham-se resumidas no QUADRO 4.

Após a coleta das primeiras amostras (Fábrica Flanaço), verificou-se a importância de coletar telhas que tivessem uma parte coberta por outra telha (ou seja, protegida da ação direta das intempéries), e outra descoberta, para fins de comparação. Desta forma, todas as outras amostras seguiram este critério de amostragem.

Local	Amostra	Idade	Clima	Insolação	Salinidade/ Particulados/ gases	Poluição	Vibração	Vento					
Flanaço Osasco SP	Proact	50	mesotérmico brando-úmido-1 a 2 meses secos	↑	↑ Particulados de Ferro ↑ Gases sulfídricos	↑	↑	-					
	Depósito de gás	>30				↑	↑	-					
	Aciaria	± 25				↑	↑	-					
	Forjaria	>29				↑	↑	-					
	Fábrica de eixos	>29				↑	↑	-					
Curitiba	Telha Nova	0	-	-	-	-	-	-					
IPT São Paulo SP	IPT	29	mesotérmico brando-úmido-1 a 2 meses secos	→	-	→	↓	-					
Rio de Janeiro RJ	Refeitório Eternit	>20	clima quente-úmido-1 a 2 meses secos	↑	→ salinidade	→	↓	→					
	Depósito Crespum	± 25		↑	→ salinidade	→	↓	→					
	Ilha do Fundão	35		↑	↑ salinidade	→	↓	→					
	Hangar do Zeppelin	70		↑	↑ salinidade	→	↑	↑					
Belém PA	Fábrica Phebo	Recebimento	>25	clima quente-úmido-1 a 2 meses secos	-	↓	↓	-					
		Embalagens	35-40										
	UFPA	PB	>25						↑	-	↓	↓	↑
		QB	35						↑	-	↓	→	-
	Estacionamento – LUSO Tour		>30						↑	-	↓	↓	→
	Galpão - DF impermeabilizantes		25-30						↑	-	↓	↓	→
Banco do Brasil		>20	↑	-	↓	↓	↑						
Curitiba PR	Rodoviária	36	mesotérmico brando-úmido-subseca	↑	CO, CO ₂ dos ônibus e particulados	↑	↑	→					
	Secretaria de Saúde	21	→	-	→	↑	→						
	Shopping Muller	23	↑	-	→	→	→						

↑	Alta
→	Média
↓	Baixa

Quadro 4 - Condições ambientais dos locais amostrados.

4.3.1.1 Osasco – SP

Na região de Osasco (SP), cidade industrial vizinha de São Paulo, há muitas edificações (residências, indústrias e comércios) cobertas por telhas de cimento-amianto (FOTO 1). A seleção dos locais de amostragem abrangeu escolas, hospitais, supermercados, sede da prefeitura e indústrias. Dentre estes, o local na qual esperava-se

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

que o ambiente fosse mais nocivo às telhas foi o da empresa de usinagem e forjaria Flanaço (antiga Cobrasma), por, exalar muito CO₂ e SO_x, quando em processo produtivo.



Foto 1 - Vista da região de Osasco. Destaca-se a indústria Adamas S.A., com cobertura de telhas de cimento-amianto.

Assim, as instalações da fábrica de peças metálicas Flanaço foram escolhidas para obtenção de amostras de telhas de cimento-amianto para estudo como representante de indústrias. Somou-se na escolha a facilidade de acesso por a fábrica estar desativada, e o fato de suas instalações, e portanto as telhas, serem muito antigas.

A fábrica localiza-se na Rua da Estação, 735, Centro, na cidade de Osasco. Trata-se da antiga Cobrasma, empresa que iniciou suas atividades há mais de 40 anos, fechou em 1992 e em 2002 reiniciou suas atividades. Essa fábrica é uma metalúrgica, e suas instalações estão dispostas em vários pavilhões.

O clima é mesotérmico brando – úmido - 1 a 2 meses secos (<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>, obtido em 09/03/2006). O ambiente é agressivo e poluído, que acelera o processo de deterioração. As telhas apresentam idades entre vinte e cinco e mais que quarenta anos e, na sua maioria, não foram substituídas ao longo deste período.

- **Pontos de coleta**

No dia 02.03.2005, em companhia dos Eng^o Domingos, Diretor da Flanaço, do Sr. José Geraldo Setter, da Eternit e do telhadista Sr. Júlio, a equipe do IPT foi visitar as dependências da fábrica para selecionar os pontos de coletas.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Foram selecionadas amostras das dependências da fábrica cujas atividades são passíveis de degradar as telhas, seja por ação de processos industriais, seja por ação de ruídos e vibrações do tráfego (FOTO 2).



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 2 – Foto de satélite da Fábrica da Flanaço, com a localização dos pontos de coleta.

A seguir são apresentados os locais de onde foram coletadas as telhas, bem como suas características.

- **Pavilhão PROACT**

Esse pavilhão constitui antiga oficina mecânica e atualmente abriga o Departamento de Manutenção (FOTO 3). Ali se constata:

- a) Agentes externos: local sujeito a vibrações oriundas do tráfego intenso de veículos pesados como empilhadeiras e caminhões e do processo de moldagem.
- b) Idade das telhas: \approx 50 anos (informação verbal do Eng^o Domingos).
- c) Amostras: Am-1.1 Proact (LPTR-320/05) (FOTO 5).
Am-1.2 Proact (LPTR-321/05) (FOTO 6).

d) Estado geral: telhas escuras, degradação moderada.

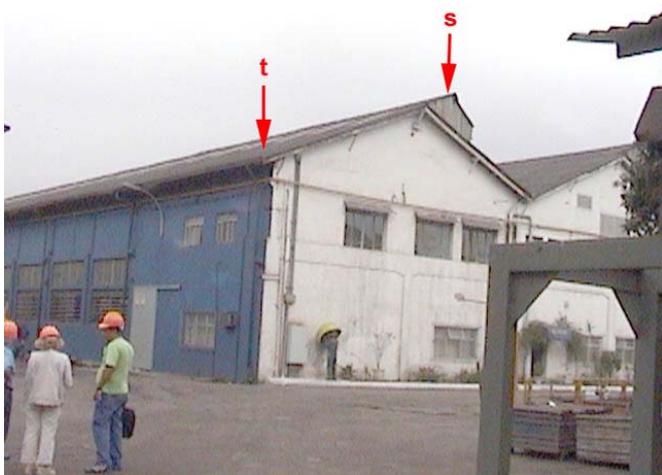


Foto 3 – Galpão Proact com indicação do local de coleta da telha (t) e do shed (s).



Foto 4 – Detalhe do local selecionado para a amostra de telha, na FOTO 2.



Foto 5 – Shed Am-1.1 (LPTR 320/05), amostrado no Galpão Proact.

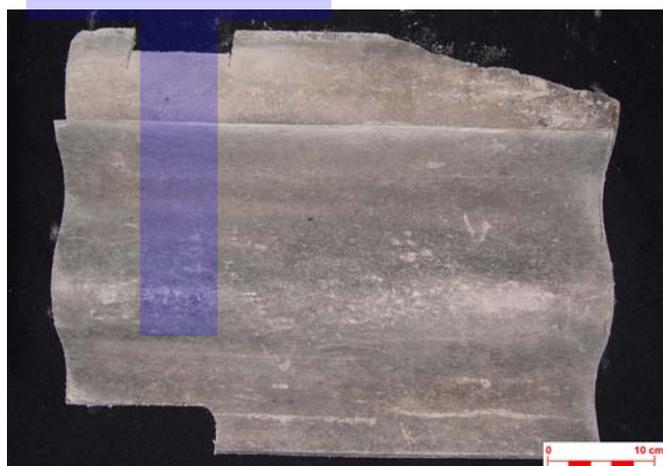


Foto 6 – Telha Am-1.2 (LPTR 321/05), amostrada no Galpão Proact.

- **Depósito de gás**

Este local (FOTO 5) possui as seguintes características:

- a) Agentes externos: local sujeito a vibrações oriundas do tráfego intenso de veículos pesados como empilhadeiras e caminhões e do processo de moldagem.
- b) Idade das telhas: > 30 anos.
- c) Observações: presença de telhas quebradas no local.
- d) Amostra: Am-2 Gás (LPTR 322/05) (FOTO 9).
- e) Estado geral: degradação moderada.



Foto 7 – Depósito de gás.



Foto 8 – Detalhe da FOTO 7 com indicação do local de coleta de telha.



Foto 9 – Telha Am-2 (LPTR 322/05), amostrada no Depósito de Gás.

- **Pavilhão da Aciaria**

Neste pavilhão (FOTO 9) destacam-se os seguintes aspectos:

- a) Agentes externos: local sujeito a vibrações de até 80 decibéis, oriundas do tráfego intenso de máquinas pesadas. Sofre ação de alta temperatura e de particulados de óxidos/hidróxidos de ferro.
- b) Idade das telhas: \pm 25 anos.
- c) Observações: presença de telhas quebradas no local.
- d) Amostra: Am-3 Aciaria (telha quebrada) (LPTR 323/05) (FOTOS 10 e 11).
- e) Estado geral: degradação moderada.



Foto 10 – Pavilhão da Aciaria, destacando-se o local de coleta da amostra de telha.



Foto 11 – Telha Am-3 (LPTR 323/05), amostrada na Aciaria.



Foto 12 – Detalhe da Telha Am-3 (LPTR 323/05), observando-se fibras se despreendendo da superfície da telha.

- **Pavilhão da Forjaria**

Esse pavilhão (FOTO 13) possui as seguintes características:

- a) Agentes externos: local sujeito a vibrações oriundas do tráfego intenso de veículos pesados nas adjacências e da prensa, que funciona continuamente. Sofre ação de alta temperatura e de particulados de óxidos de ferro liberadas pelo forno. Além destes particulados, o forno exalou até 1992 gases sulfídricos devido à utilização de combustíveis tipo BPF (informação verbal do Engº Domingos).
- b) Idade das telhas: ≥ 30 anos.
- c) Amostra: Am-4 Forjaria (LPTR 324/05) (FOTO 14).
- d) Estado geral: degradação moderada.



Foto 13 – Pavilhão da Forjaria, destacando-se o local de coleta da amostra de telha.



Foto 14 – Telha Am-4 (LPTR 324/05), amostrada na Forjaria.

- **Pavilhão da Fábrica de Eixos**

Nesse pavilhão (FOTO 15) destacam-se os seguintes aspectos:

- a. Agentes externos: local sujeito a vibrações oriundas do tráfego intenso de veículos pesados.
- b. Idade das telhas: ≥ 30 anos.
- c. Amostras: Am-5.1 Eixos (LPTR 325/05) (FOTO 16).
Am-5.2 Eixos (LPTR 326/05) (FOTO 17).
- d. Estado geral: degradação moderada.



Foto 15 – Pavilhão da Fábrica de Eixos, destacando-se os locais aproximados de coleta das amostras de telhas.

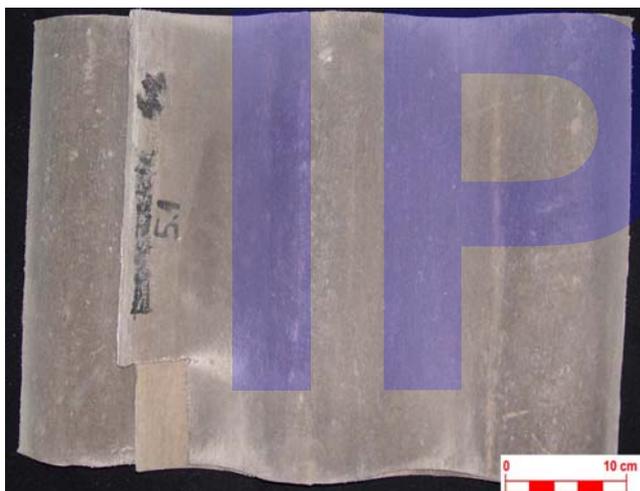


Foto 16 – Telha Am-5.1 (LPTR 325/05), amostrada na Fábrica de Eixos.



Foto 17 – Telha Am-5.2 (LPTR 326/05), amostrada na Fábrica de Eixos.

4.3.1.2 São Paulo - SP

Na cidade de São Paulo, o IPT foi selecionado por estar em uma área altamente arborizada em uma metrópole e pela facilidade de acesso (FOTO 18). Aproveitou-se a reforma de uma oficina (Prédio 61) construída em 1977 e, atualmente, utilizada no armazenamento e preparação de amostras de rochas evaporíticas (FOTO 19). O Prédio tem forro de alvenaria, isolando as telhas de seu interior. Assim como na Flanaço, o prédio está localizado em região de clima mesotérmico brando – úmido - 1 a 2 meses secos (<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>, obtido em 09/03/2006).

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

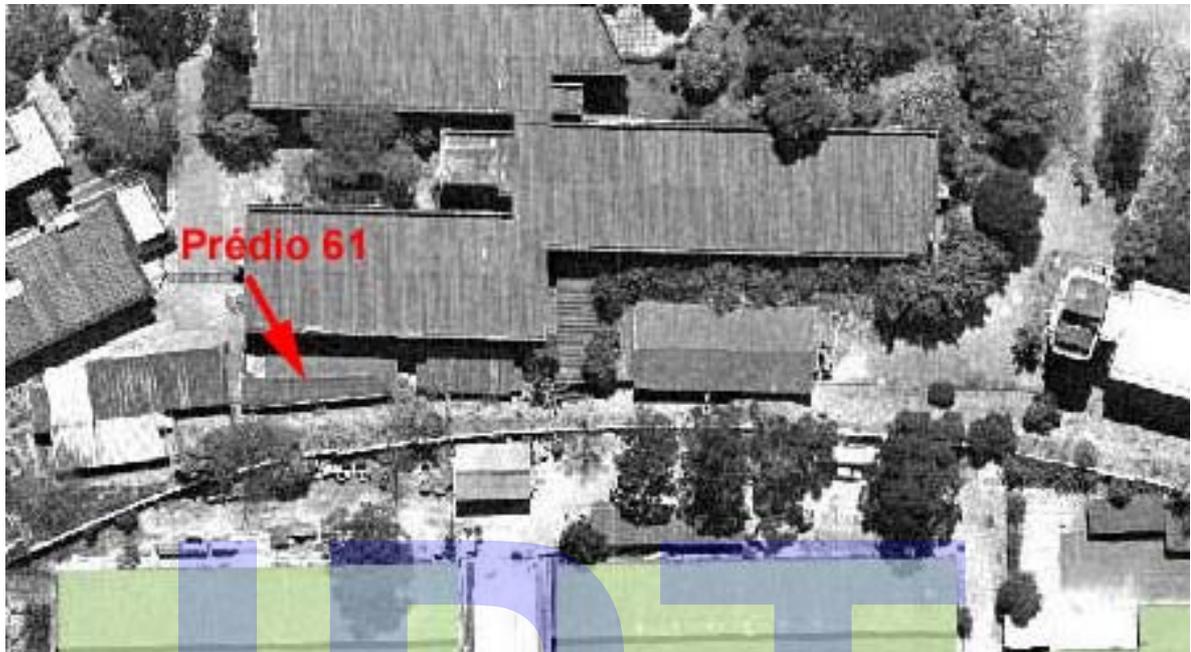
Diferentemente do local anterior, o prédio localiza-se em bairro arborizado e de baixo tráfego de veículos. Ali constata-se:

- a) Localização: Av. Prof Almeida Prado, 532, Cidade Universitária, Zona Oeste de São Paulo, SP.
- b) Agentes externos: insolação durante todo o dia e pluviosidade elevada, típica da Cidade de São Paulo.
- c) Idade das telhas: 29 anos.
- d) Observações: fragmento de cumeeira plana
- e) Amostra: IPT (LPTR 433/05) (FOTO 20).
- f) Estado geral: Bom.



Fonte: Google Earth (10.03.2006).

Foto 18 – Imagem de satélite de parte da Cidade Universitária (USP) e IPT. O retângulo indica a parte ampliada na FOTO 19.



Fonte: www.usp.br/pco/ondeesta/mapaunidades/default.htm (10.03.2006).

Foto 19 – Fotografia aérea, com detalhe da FOTO anterior, a seta indica o telhado de onde foi retirada a amostra (Prédio 61).



Foto 20 – Amostra Telha IPT 1977 (LPTR 433/05).

4.3.1.3 Rio de Janeiro – RJ

O Rio de Janeiro foi selecionado por estar em região de clima quente- úmido- 1 a 2 meses secos (<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>, obtido em 09/03/2006) e alta salinidade. Os locais visitados (FOTO 21) e a escolha das amostras acham-se detalhados a seguir.

Foram visitados quatro locais no Município do Rio de Janeiro, RJ, de onde foram selecionadas telhas para amostragem. Essa visita foi feita em 20 e 21.05.2005 por técnicos do IPT, em companhia do Sr. Ronaldo, funcionário da Empresa Eternit.

- **Pontos de coleta**

Foram selecionadas amostras de instalações antigas que utilizam telhas de cimento-amianto na construção de suas dependências.



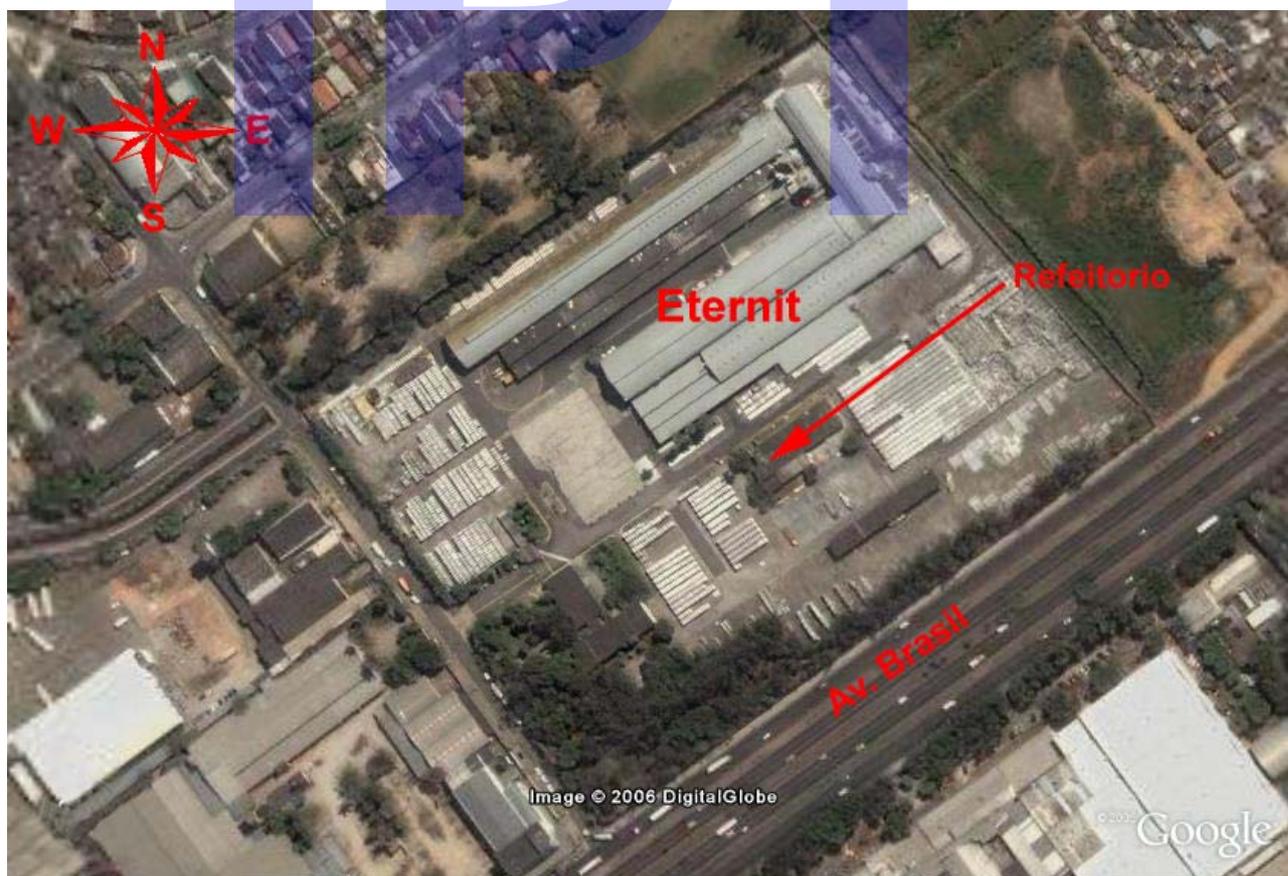
Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 21 – Foto de satélite do Município do Rio de Janeiro, incluindo os locais selecionados para amostragem (pontos vermelhos).

- **Fábrica da Eternit Rio de Janeiro**

Nessa fábrica (FOTOS 22 a 24), destacam-se os seguintes aspectos:

- a) Localização: Rua Francisco Portela, 122, Bairro de Guadalupe, Zona Norte do Rio de Janeiro.
- b) Agentes externos: local sujeito a um ambiente de alta insolação, pluviosidade e temperatura, com salinidade e vento moderado.
- c) Idade: segundo informações verbais do Sr. Ronaldo, o refeitório foi construído há mais de 20 anos e não houve troca geral das telhas desde então.
- d) Amostras: ondulada refeitório (LPTR 688/05) (FOTOS 25 e 27)
Cumeeira refeitório Eternit (LPTR 689/05) (FOTOS 25, 26 e 28).
- e) Estado geral: degradação moderada.



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 22 – Imagem de satélite da fábrica da Eternit no bairro de Guadalupe, Rio de Janeiro - RJ.



Foto 23 – Vista parcial da fábrica da Eternit Rio de Janeiro. Notar telhas pintadas no galpão principal da fábrica. A seta à esquerda indica o refeitório, com telhado mais escuro (telhas não pintadas).

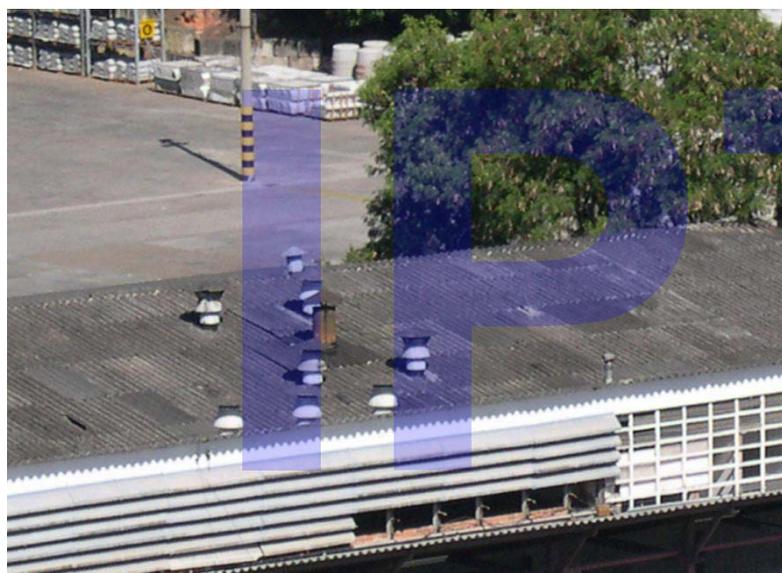


Foto 24 – Parte do telhado do refeitório da Eternit Rio de Janeiro.



Foto 25 – Telha e cumeeira selecionadas para amostragem, no telhado do refeitório da Eternit.



Foto 26 – Cumeeira selecionada para amostragem, no telhado do refeitório da Eternit.



Foto 27 – Telha ondulada do refeitório da Eternit (LPTR 688/05).



Foto 28 – Cumeeira do Refeitório da Eternit Eternit (LPTR 689/05).

- **Depósito Manuel Crespum**

O depósito foi selecionado por representar local com telhas semelhantes e em mesmas condições climáticas da Fábrica da Eternit.

Nesse local destacam-se:

- a) Localização: próximo à fábrica da Eternit, no bairro de Guadalupe, Rio de Janeiro.
- b) Agentes externos: ambiente de alta insolação, pluviosidade e temperatura, com salinidade e vento moderado.
- c) Idade: estima-se idade superior a 20 anos.
- d) Amostra: Crespum (LPTR 690/05) (FOTO 31).
- e) Estado geral: degradação moderada.



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 29 – Imagem de satélite do Depósito Manuel Crespum. A seta indica o local selecionado para amostragem.



Foto 30 – Telhado do Depósito Manuel Crespum, em visada para oeste, ao final do dia. A seta indica local selecionado para amostragem.

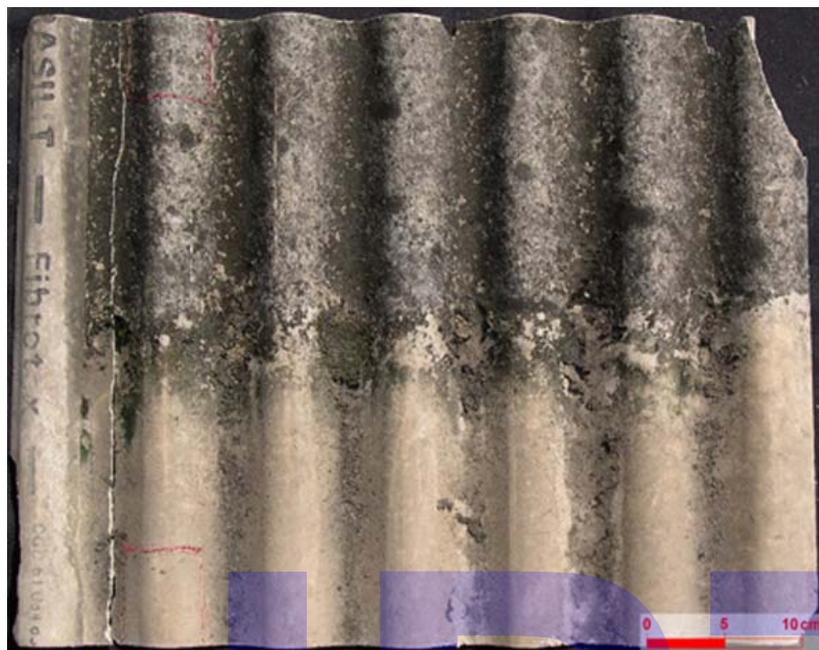


Foto 31 – Telha ondulada depósito Crespum (LPTR 690/05)

- **Centro de Ciências da Saúde – Ilha do Fundão**

Todo o telhado do Centro de Ciências da Saúde está passando por reforma (FOTOS 34 e 35), com substituição das telhas tipo “canalete” que apresentam quebras ou rachaduras.

Nesse centro, podem ser destacados:

- a) Agentes externos: ambiente de alta insolação, temperatura, pluviosidade e salinidade, com vento moderado.
- b) Idade: aproximadamente 34 anos.
- c) Amostras: Saúde - RJ (LPTR 691/05) (FOTOS 36 e 37).
- d) Estado geral: degradação moderada.



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 32 – Imagem de satélite da parte norte Ilha do Fundão. O retângulo indica o Centro de Ciências da Saúde. A norte observa-se parte da pista do Aeroporto Internacional Tom Jobim (Galeão)



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 33 – Imagem de satélite do Centro de Ciências da Saúde, na Ilha do Fundão. A seta indica o local selecionado para amostragem.



Foto 34 – Aspecto geral do telhado do Centro de Ciências da Saúde, na Ilha do Fundão. A seta indica telha selecionada para amostragem

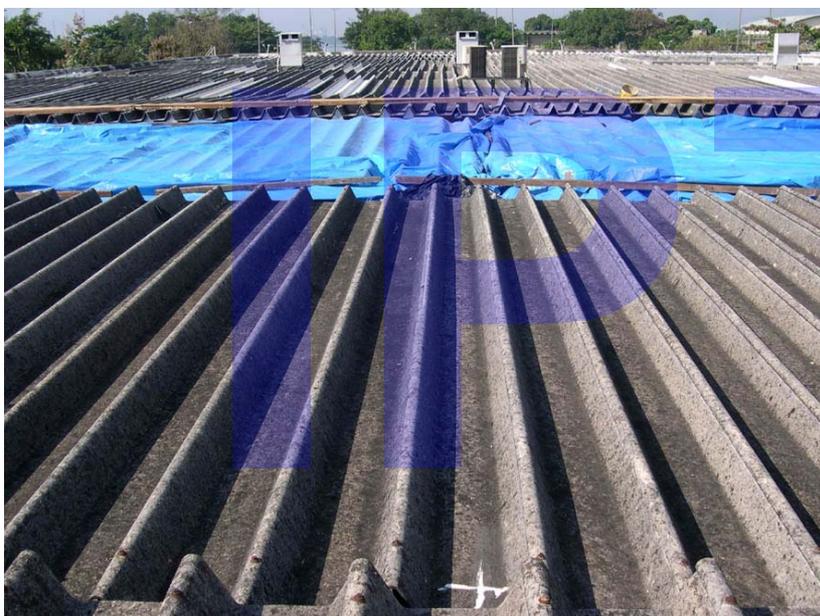


Foto 35 – Telhas tipo canaletão selecionada para amostragem (marcada com cruz branca).



Fotos 36 e 37 – Telha tipo canaletão Centro de Ciências da Saúde (LPTR 691/05).

- **Hangar do Zeppelin**

Segundo folheto promocional fornecido pela Base Aérea, o Hangar foi inaugurado em 1936 e possui 270 m de comprimento, 50 m de altura e 50 m de largura.

Nele podem ser destacados os seguintes aspectos:

- a) Localização: Base Aérea de Santa Cruz, Zona Oeste do Rio de Janeiro (FOTO 39).
- b) Agentes externos: ambiente de alta insolação, temperatura, salinidade, vento e pluviosidade. O Hangar também sofre solicitação por ruído e vibração da decolagem de aviões a jato e detonação de bombas em área de provas nas proximidades.
- c) Amostras: Hangar 1 a 7 (LPTR 750/05 a 752/05) (FOTOS 41 a 43). A porta sul, de onde se amostrou, está voltada para o mar e dista deste aproximadamente 3.400 m de distância.
- d) Idade: 70 anos, conforme atestado pelo relevo mostrado na FOTO 44
- e) Estado geral: bom



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 38 – Imagem de satélite da Base Aérea de Santa Cruz, destacando-se o Hangar do Zeppelin. Notar a praia e o mar no canto inferior esquerdo da foto.



Foto 39 – Vista aérea do Hangar do Zeppelin, expondo a porta norte e o lado oeste.

Fonte: Base aérea de Santa Cruz



Foto 40 – Porta sul do Hangar do Zeppelin, com seta indicando profissional do IPT. As telhas amostradas estão indicadas com “X” vermelhos.

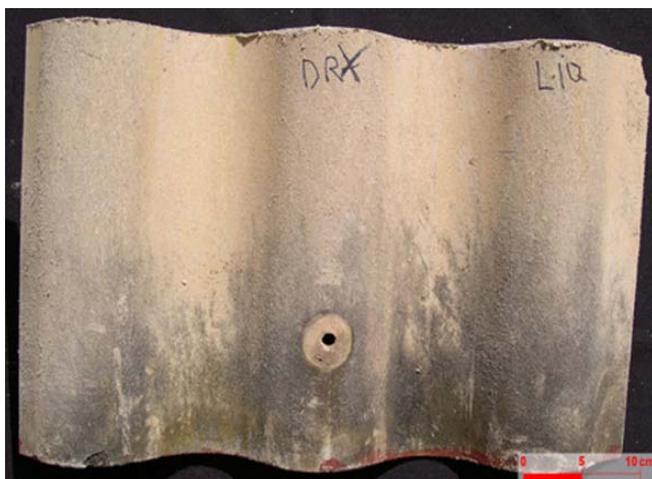


Foto 41 – Amostra de telha da porta sul do Hangar do Zeppelin (LPTR 750/05).

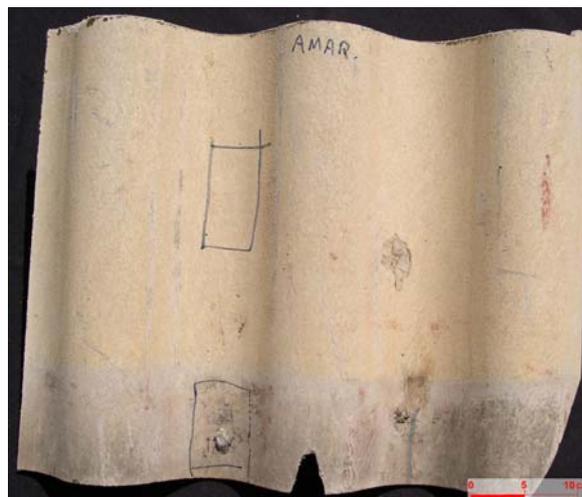


Foto 42 – Amostra de telha da porta sul do Hangar do Zeppelin (LPTR 751/05).



Foto 43 – Amostra de telha da porta sul do Hangar do Zeppelin (LPTR 752/05)



Foto 44 – Detalhe do relevo na amostra LPTR 750/05, indicando a data de fabricação da telha (15.08.1935) e o fabricante.

4.3.1.4 Belém - PA

Foram visitados cinco locais no Município do Belém, PA, de onde foram selecionadas telhas para amostragem. Essa visita foi feita nos dias 29 a 31.08.2005 por técnicos do IPT, em companhia do Sr. José Ferreira, ex-funcionário da Empresa Eternit, e pelo Arq. José Augusto de Paula Jr.

Belém foi selecionada por estar em região de clima quente - úmido com 1 a 2 meses secos (<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>, obtido em 09/03/2006).

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Os locais visitados e a escolha de amostras acham-se detalhados a seguir.

- **Antiga fábrica da Phebo, atual fábrica da Granado**

A empresa ocupa uma área coberta de aproximadamente 9.800m², a 1 km de distância da Baía de Guajará. A visita foi acompanhada pelo Sr. Leopoldo, administrador de risco da empresa que forneceu as informações.

Nesse local, podem ser destacados:

- a) Localização: Rua Antônio Bocaiúva, Nº 687. Bairro Reduto.
- b) Observações dos locais de amostragem: Foram amostradas telhas do Pavilhão de recebimento e do Setor de embalagens. O pavilhão recebe matéria prima (álcool, soda cáustica e lauril) e produtos acabados. Até 10 anos atrás era utilizado sebo animal no processo. O setor de embalagens apresenta pé direito de 6m e forro de PVC há 15 anos.
- c) Agentes externos: Local com baixas vibrações e baixos ruídos (bairro residencial, rua asfaltada, estreita e com tráfego leve). Ambiente com alta umidade, alta insolação. Região plana, com prédios baixos ao redor, sem sombra.
- d) Idade: >25 (Pavilhão Phebo) e 35-40 anos (Embalagens Phebo).
- e) Amostras: Pavilhão Phebo (LPTR 849/05) (FOTO 48).
- f) Embalagens Phebo (LPTR 850/05) (FOTO 52)
Embalagens Phebo coberta e descoberta (LPTR 851/05) (FOTO 53)
Estado geral: bom a degradação fraca



Foto 45: Vista geral do entorno da fábrica da Phebo, mostrando o porto na margem direita da Baía de Guajará.



Foto 46 – Telhado do pavilhão de recebimento da Phebo.



Foto 47 – Corredor interno do Pavilhão de recebimento. Os pontos brancos na telha correspondem provavelmente a material biológico.

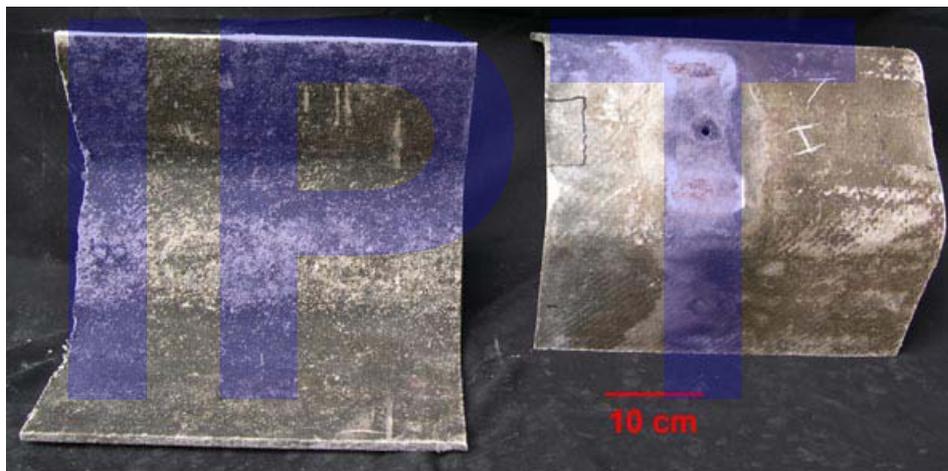


Foto 48 – Amostra Pavilhão de recebimento – Fábrica Phebo (LPTR 849/05).



Foto 49 - Setor de embalagens Phebo. A seta indica o local amostrado, que é o canto direito inferior da parte diametralmente oposta à fotografada.



Foto 50 (acima) – Telhado do setor de embalagem da Phebo. O “X” vermelho indica o local amostrado da telha ondulada.



Foto 51 (acima) – Local de amostragem da cumeeira do setor de embalagens. O “X” vermelho indica o local amostrado.

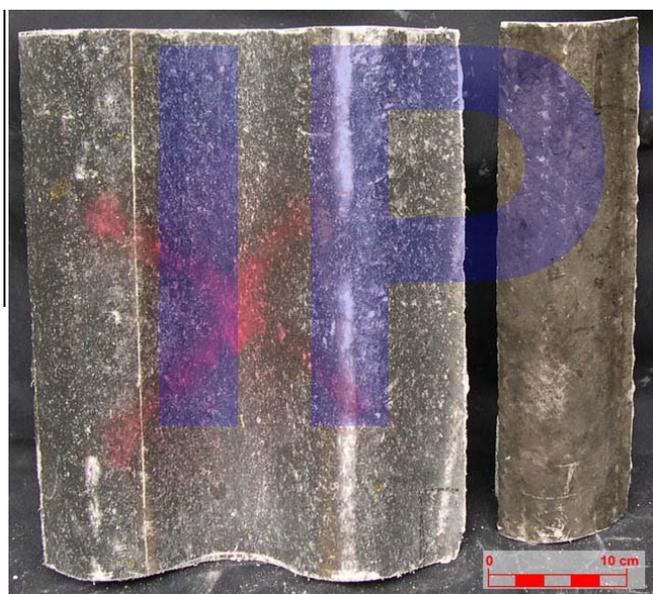


Foto 52 (ao lado) - Amostra de telha ondulada do setor de embalagens (LPTR 850/05).



Foto 53 (abaixo) - Amostra de cumeeira do setor de embalagens (LPTR 851/05).

- **Universidade Federal do Pará (UFPA) – Campus do Guamá**

O Campus do Guamá é um local bastante arborizado e com baixo nível de ruído e poluição. Localiza-se na planície do rio Guamá, na zona ribeirinha. Na vizinhança do campus, próximo ao rio Guamá, há uma siderúrgica, que derrete sucata (FOTO 54). Segundo a arquiteta Joana C.C. Barreto, funcionária da UFPA, as instalações iniciais datam de 1970.



Foto 54 - Vista da siderúrgica e do entorno da UFPA.



Foto 55 - Passarelas da UFPA que ligam os blocos de sala de aula, administrativos etc.

No Campus, podem ser destacados:

- a) Agentes externos: local plano com baixa vibração e ruído (blocos de sala de aula e trânsito de pessoas). Ambiente com alta umidade, insolação, vento e umidade.
- b) Idade: amostras da passarela PB: >25 anos.
Amostras da passarela QB: 35 anos
- c) Amostras: Passarela PB UFPA (FOTO 57) (LPTR 852/05).
PB - P1 – UFPA (FOTO 59) (LPTR 853/05).
QB - UFPA (FOTO 61) (LPTR 854/05).
- d) Estado geral: degradação moderada. Presença de telhas quebradas (FOTO 56).



Foto 56 - Passarela PB blocos de salas de aula, na UFPA.

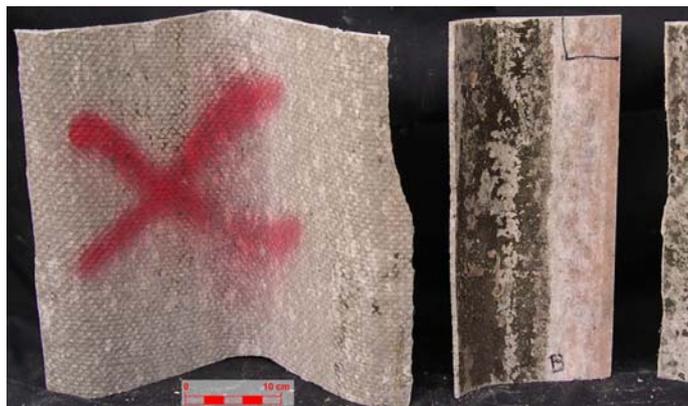


Foto 57 - Amostra Passarela PB blocos de salas de aula (LPTR 852/05).



Foto 58 - Bloco PB Sala P1, na UFPA.

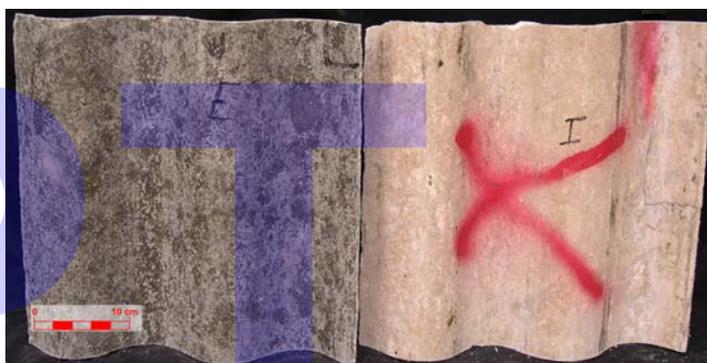


Foto 59 - Amostra Bloco PB Sala P1 (LPTR 853/05).



Foto 60 - Passarela Bloco da Química-QB, na UFPA. Observar orifício em telha amostrada.



Foto 61 - Amostra Passarela Bloco da Química-QB (LPTR 854/05).

- **Agência de turismo Lusotur**

Trata-se de prédio aonde funciona atualmente uma agência de turismo, mas que no passado foi uma filial da Brasilit.

Nesse local, podem ser destacados:

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

- a) Localização: Rua Brás de Aguiar, N° 471. Bairro Nazaré.
- b) Agentes externos: local plano com trânsito de carros elevado. Ambiente quente e com alta umidade e pluviosidade. Rua bastante arborizada.
- c) Idade: >30 anos.
- d) Amostra: LUSO tour (FOTO 64) (LPTR 855/05)
- e) Estado geral: degradação moderada.



Foto 62: Local de amostragem de telha do LUSO tour



Foto 63 – Estacionamento da Lusotour.



Foto 64 – Amostra estacionamento da Lusotour (LPTR 855/05).

- **Galpão DF Impermeabilizantes Ltda.**

Trata-se de um prédio com apenas um pavimento e pé direito de aproximadamente dez metros. O prédio foi construído há 40 anos, funcionando como depósito alimentício até 2000 e a partir de então como depósito de material de construção (informações fornecidas pelo proprietário e Eng^o Demetrius S. Barbosa).

São armazenados sacos de cimento e areia e recipientes com impermeabilizantes. É feita a mistura de quartzo em várias granulometrias, carbonatos de cálcio e magnésio, cimento+vedágua+cal HB-01/loções acrílicas e cristalizantes.

Nesse local, podem ser destacados:

- a) Localização: Rua Dom Romualdo Coelho, N^o 584. Bairro Marizal.
- b) Agentes externos: local com baixa vibração e ruídos. Ambiente com alta umidade, temperatura, insolação e vento moderado.
- c) Idade: 25 -30 anos.
- d) Amostras: telha ondulada galpão DF Impermeabilizantes (LPTR 856/05) (FOTO 66)
- e) Estado geral: degradação moderada, presença de telhas fissuradas.

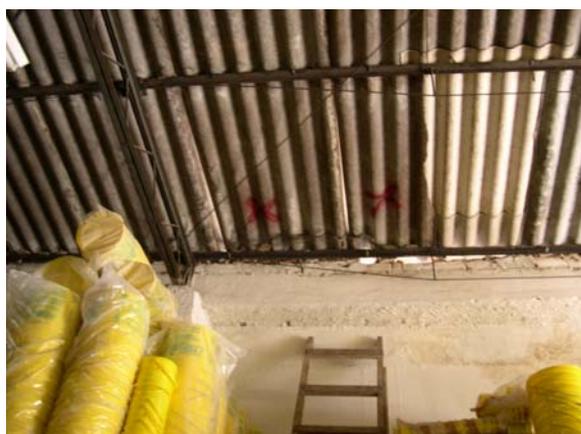


Foto 65 – Telhado do galpão da DF Impermeabilizantes. As amostras estão indicadas com “x” vermelho.



Foto 66 – Amostra Galpão - DF (LPTR 856/05).

- **Banco do Brasil**

Trata-se de um conjunto de prédios conectados por um corredor coberto. Além da parte destinada aos serviços bancários, há um local para carga e descarga de mercadorias e outra para depósito de materiais de escritório, higiene e limpeza (informações fornecidas pela Arq^a Eliane Helena, funcionária do banco), como ilustra a FOTO X. Em parte do telhado do Banco do Brasil destacam-se telhas cobertas por espuma rígida e pintadas com tinta prateada. Ressalta-se, no entanto, que essa cobertura acha-se parcialmente deteriorada. Nesse local, podem ser destacados:

- a) Localização: Rua Humaitá, Nº 3029.
- b) Agentes externos: local com terreno plano, rua asfaltada com calçadas de cimento e trânsito leve. Ambiente com alta umidade, insolação e vento.
- c) Idade: <20 anos.
- d) Amostras: telha mercadoria BB (LPTR 857/05) (FOTO 69).
Depósito BB (LPTR 858/05) (FOTO 71).
- e) Estado geral das telhas: Bom



Foto 67: Imagem do depósito (ao fundo, cinza) e do setor de carga e descarga (na frente) do Banco do Brasil



Foto 68 – Telhado do setor de carga e descarga do Banco do Brasil.

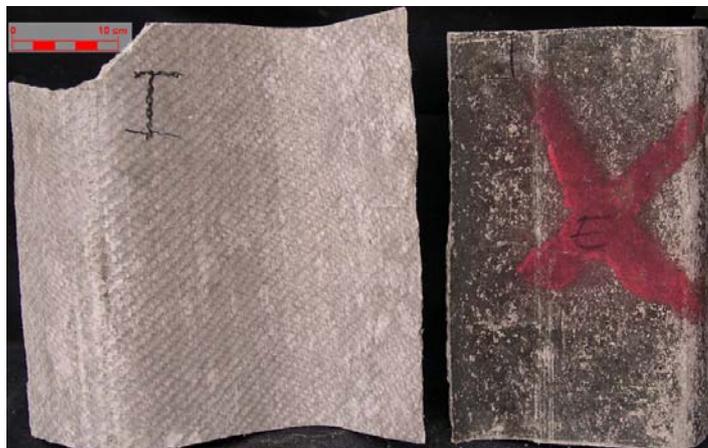


Foto 69 – Amostra telha carga e descarga de mercadoria - Banco do Brasil (LPTR 857/05).



Foto 70 – Telhado do depósito do Banco do Brasil. A telha possui uma cobertura de espuma rígida com camada de tinta prateada.

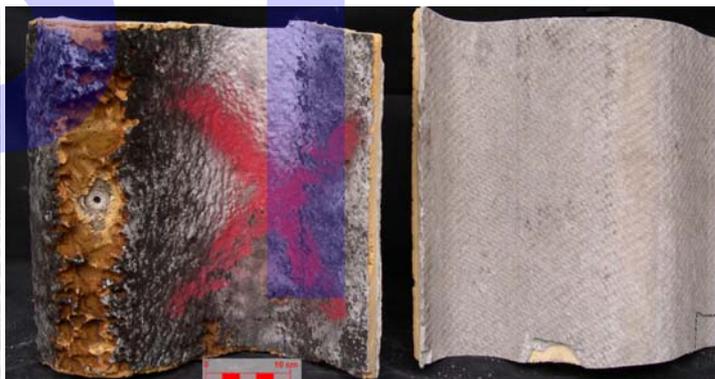


Foto 71 – Amostra telha depósito - Banco do Brasil (LPTR 857/05). Notar cobertura de espuma.

4.3.1.5 Curitiba - PR

Foram visitados três locais em Curitiba-PR, de onde foram selecionadas telhas para amostragem. Essa visita foi feita em 19.05.2005 por técnicos do IPT, em companhia dos senhores Milton Stanczyk e Laércio Zgoda, funcionários da Empresa Eternit.

Curitiba foi selecionada por ser a capital mais fria do Brasil, com clima mesotérmico brando-super-úmido com subseca (<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>,

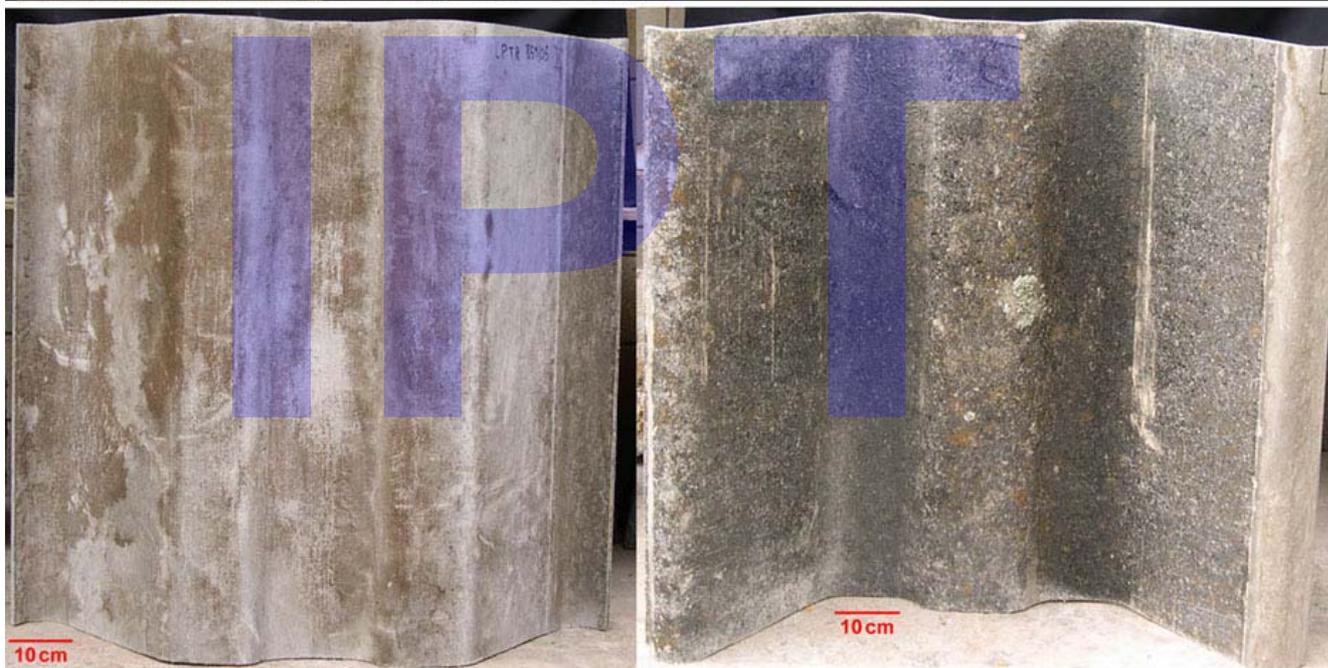
obtido em 09/03/2006), apresentar o ambiente peculiar do Terminal Rodo-ferroviário e o apoio da unidade fabril da Eternit. É também uma cidade grande, com cerca de um milhão de habitantes, representante de ambiente urbano. Os locais visitados e a escolha de amostras acham-se detalhados a seguir.

- **Terminal Rodo-ferroviário**

O local foi selecionado devido à atmosfera rica em monóxido e dióxido de carbono, exalados pelos escapamentos dos ônibus, movidos essencialmente a óleo Diesel.

No terminal, localizado próximo ao centro da cidade, no bairro Rebouças, podem ser destacados:

- a) Localização: Rua Padre Afonso Camargo.
- b) Agentes externos: ambiente de alta insolação, sem sombreamento, com temperatura, pluviosidade e vento moderado. Ruído e gases de ônibus.
- c) Idade: aproximadamente 36 anos.
- d) Amostras: As amostras foram retiradas da ala interestadual, plataforma 22. Rodoviária Ctba (LPTR 859/05) (FOTOS 73 e 74).
- e) Estado geral: Bom, porém observam-se manchas brancas na superfície interna das telhas, provavelmente de origem biológica. Localmente ocorrem orifícios provocados provavelmente por impacto de um corpo duro.
- f) Estado geral: bom.



Parte interna

Parte externa

Foto 72 (em cima) - Parte interna do telhado sobre a plataforma ("box") 35 no "bloco" estadual, com indicação da telha, tipo canaletão, amostrada.

Fotos 73 e 74 – Amostra Rodoviária Curitiba (LPTR 859/05), vistas das partes interna e externa.

- **Secretaria da Saúde (antiga sede do INAMPS)**

O local foi selecionado devido ao revestimento vertical, com placas cimentícias de 6 mm, em local de alto tráfego de veículos. A fachada recebe sol pela manhã.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Na Secretaria da Saúde podem ser destacados:

- a) Localização: Rua Marechal Floriano nº 250, Centro.
- b) Características: prédio de onze andares, “encaixado” entre dois outros.
- c) Agentes externos: ambiente de insolação moderada (somente pela manhã), com temperatura, pluviosidade e vento moderado. Vibrações e ruídos intensos, devido ao tráfego pesado.
- d) Idade: 20 anos.
- e) Amostra: Secretaria da Saúde (LPTR 860/05) (FOTO 77).

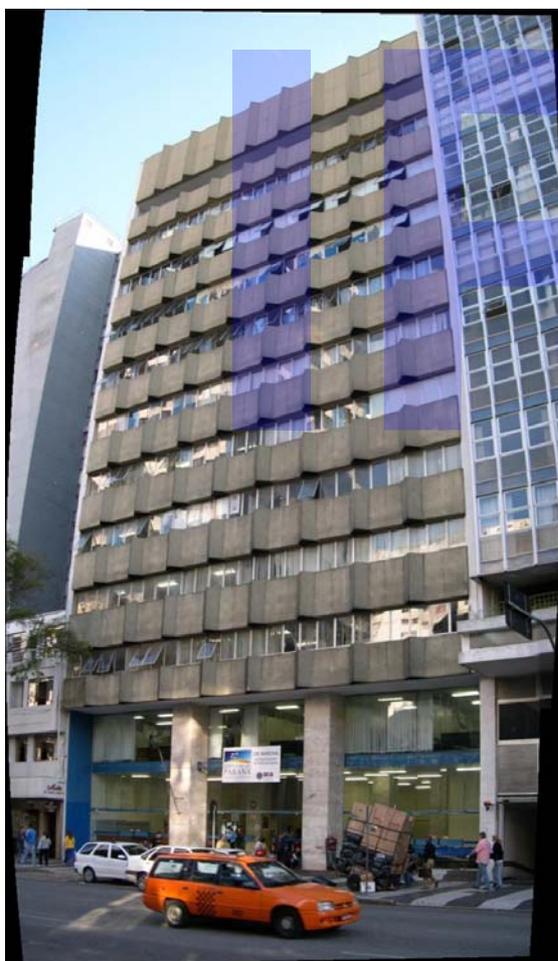


Foto 75 – Fachada da Secretaria da Saúde.



Foto 76 – Detalhe da FOTO anterior, com a seta indicando a placa cimentícia amostrada.

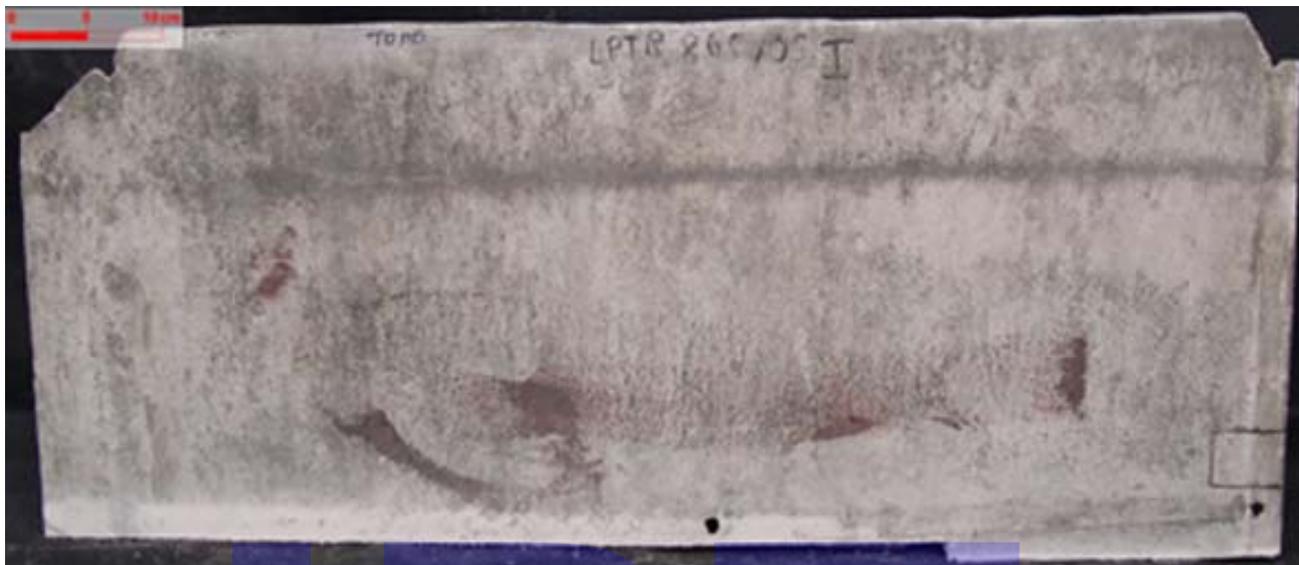


Foto 77 – Amostra placa cimentícia da Secretaria da Saúde (LPTR 860/05).

- **Shopping Center Mueller**

O local foi selecionado devido ao tipo peculiar de revestimento de placas cimentícias, com 4 mm de espessura, simulando ardósia. O shopping possui uma área total de 65.818 m², três pisos de lojas e três de estacionamento. O terreno da edificação é plano e equivale a um quarteirão. Foi inaugurado em 1983, porém desde 1878 até este ano, era uma fundição. O prédio foi reciclado e adaptado ao novo uso, porém mantiveram-se as fachadas.

No Shopping Mueller podem ser destacados:

- a) Localização: Rua Cândido Abreu, Bairro São Francisco
- b) Agentes externos: ambiente de alta insolação, sem sombreamento, com temperatura, pluviosidade e vento moderado. Trânsito moderado a intenso.
- c) Idade: 23 anos.
- d) Amostra: Mueller (LPTR 861/05) (FOTO 79).
- e) Estado geral: bom. Algumas placas de 40x40x0,4cm apresentam manchas brancas, possivelmente gipso.



Foto 78 – Fachada do Shopping Center Mueller na Rua Cândido Abreu. A seta indica local selecionado para amostragem.



Foto 79 – Amostra Shopping Mueller (LPTR 861/05). A placa da esquerda exhibe a face externa, e a da direita, a interna.

4.4 Análises e ensaios

Foram analisadas 30 amostras de telhas de cimento-amianto, que totalizaram 45 sub-amostras, quando consideradas as porções cobertas e descobertas separadamente. Em todas as amostras foram efetuadas análises petrográficas e análises mineralógicas por difração de raios-X total, bem como da fuligem externa e interna para algumas destas; 7 amostras foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva; ensaios de absorção d'água e ensaios químicos foram efetuados em 11 amostras. Para o ensaio de absorção d'água e ensaios químicos, as amostras selecionadas foram aquelas que continham porções cobertas por sobreposição de outra telha, e apresentavam grande contraste visível de grau de deterioração entre os pares cobertos e descobertos.

Os métodos de ensaios e análises efetuados nas amostras encontram-se descritos a seguir.

4.4.1 Análise Petrográfica

As lâminas delgadas foram confeccionadas em locais representativos da telha, com base na observação cuidadosa de cada amostra. A análise petrográfica foi executada segundo o Procedimento CT-OBRAS-LMCC-P-PE 001 – “Análise petrográfica” e baseado na norma ASTM C856 (1995).

Para a análise petrográfica, foi confeccionada lâmina delgada a partir de fragmentos extraídos de cada uma das telhas, com aproximadamente 2 cm x 4 cm x 2 cm e posteriormente impregnado a vácuo com resina e corante. Após secagem em estufa (60°C, por 24h), o bloquete foi lixado e colado em lâmina de vidro e cortado novamente (espessura de ± 2 mm). Por fim, o material foi desgastado e lixado até atingir a espessura de 30 μm , e então coberto com lamínula de vidro.

A análise petrográfica foi executada com o auxílio de uma lupa estereoscópica e de um microscópio petrográfico, modelo Photomicroscope II, marca Carl Zeiss.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

As análises foram ilustradas com fotomicrografias. As zonas das telhas foram descritas conforme o croqui da FIGURA 3 e as telhas foram desenhadas a partir das descrições.

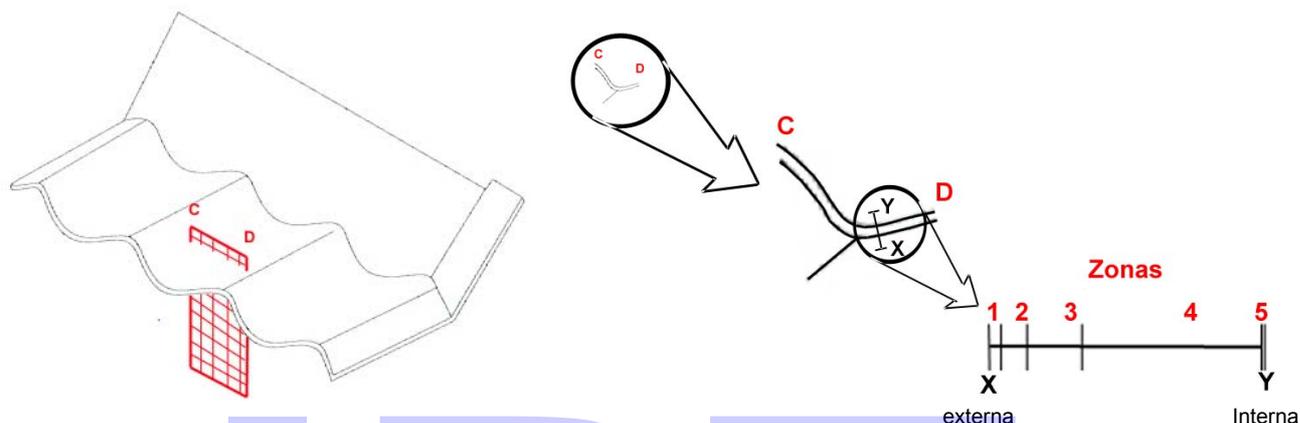


Figura 3 – Esquema da telha vista em corte perpendicular à superfície, conforme observações petrográficas, através da lâmina delgada.

4.2.2 Análise mineralógica por difratometria de raios-X

A análise mineralógica foi executada segundo o Procedimento CT-OBRAS-LMCC-P-PE 008 “Análise mineralógica por difratometria de raios-X”

Uma porção representativa de cada amostra foi desagregada em almofariz de ágata e atacada com ácido clorídrico (20%). Para a coleta do material superficial (sujeira ou fuligem), removeu-se cuidadosamente o material desagregado com uma trincha. O resíduo, no primeiro caso, e o material desagregado, no segundo, foram dispostos em suporte de cavidade, de maneira não orientada, e submetidos à análise por difratometria de raios-X.

O equipamento utilizado é um *Rigaku Denki*, modelo *Geigerflex*, operando com radiação $K\alpha$ do cobre. Na interpretação dos difratogramas foi utilizado o fichário do *Joint Committee on Powder Diffraction Standards – JCPDS* (1974).

4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva

Cubos de 1cm de aresta e lâminas de telhas sem a cobertura da lamínula com 1 mm² foram dispostas em um suporte e analisadas a vácuo num microscópio eletrônico

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

de varredura. A marca do microscópio é JEOL JSM-5200 e foi operado a 15 kv. O equipamento utilizado pertence ao Laboratório de Equipamentos Mecânicos e Estruturas do IPT.

IPT

4.2.4 Absorção d'água

O ensaio para determinação do índice de absorção de água nas amostras de telhas de amianto foi realizado com base no método de ensaio constante na “ASTM Designation: C459 – 1991 – Standard Test Methods for Asbestos–Cement Flat Products”, item 6.

4.2.5 Ensaio químicos

Os métodos de ensaios químicos executados constam no ANEXO F, Relatório de Ensaio do IPT Nº 938.228-203.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Esse item apresenta a síntese de todas as análises e ensaios efetuados.

5.1 Análise petrográfica

Os resultados das análises petrográficas encontram-se no ANEXO A. As fotomicrografias estão no ANEXO B.

As telhas são constituídas da pasta (produtos do cimento hidratado), cimento não hidratado na forma de clínquer remanescente, agregados (crisotila e outros) e vazios. Esta constituição é observada tanto na telha Nova quanto em telhas pouco alteradas. As características óticas das fibras são compatíveis com as da crisotila, exceto em algumas telhas que apresentam celulose e na telha Am-2 - Gás, que possui o clinoanfíbólio crocidolita em quantidade subordinada. Quantidades variáveis de grãos de quartzo fino e de material vítreo foram identificadas como partes constituintes do agregado.

A interface entre a fibra e a matriz normalmente não apresenta propriedades óticas distintas. Nota-se somente que a fibra encontra-se fortemente aderida à matriz e que localmente ocorrem cristais de carbonato na interface.

Os dados de análise petrográfica indicam grande variação nas telhas quanto aos constituintes e ao grau e estilo de alteração.

5.2 Análise mineralógica por difratometria de raios-X

A sujidade encontrada nas superfícies externas e internas das telhas são compostas por materiais da própria telha, produtos de alteração, material carreado pelo ar e material biológico. Os resultados da análise mineralógica por difratometria de raios-X encontram-se no ANEXO C. Observa-se que o limite de detecção é de 1 a 2%, portanto minerais em quantidade inferior não são detectados e tampouco materiais orgânicos e/ou amorfos (por exemplo, materiais biológicos, celulose, sílica amorfa e C-S-H gel)

5.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

Os resultados da microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva encontram-se no ANEXO D. As imagens dão informações morfológicas e texturais, enquanto a análise química semi-quantitativa fornece a composição química para elementos com número atômico superior ao do carbono. Assim, a água livre e água de constituição dos minerais hidratados não são detectados pelo aparelho utilizado. Ressalta-se que o feixe de elétrons para a análise química tem 1µm de diâmetro e seu bulbo de análise atinge profundidade variada conforme a energia, porém quanto maior esta for, mais o feixe penetra na amostra.

5.4 Absorção d'água

Os resultados da absorção d'água encontram-se no ANEXO E.

5.5 Ensaio químicos

Os resultados de ensaios químicos encontram-se no ANEXO F, Relatório de Ensaio do IPT Nº 938.228-203.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A composição original da telha é muito importante no processo de alteração. Entretanto, remontá-la pode ser difícil em virtude dos processos modificadores do meio-ambiente atuante. Mudanças significativas no processo produtivo das mesmas impedem

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

uma extrapolação dos dados obtidos da telha Nova para as demais. As principais diferenças de processo produtivo observadas são variações da composição e proporção dos agregados, tipo de fibra, granulometria do clínquer e proporção pasta: agregado, conforme QUADRO 5.

Produto	1974					1982				
	Amianto	Cimento	Resíduo	Calcário	Celulose	Amianto	Cimento	Resíduo	Calcário	Celulose
TTX	64,92	586,17	32,88	0,00	0,00	78,20	641,72	28,34	0,00	0,00
TOD	74,65	698,41	20,41	0,00	0,00	83,01	684,81	23,81	0,00	0,00
T 90	86,91	714,29	0,00	0,00	0,00	89,04	702,95	9,07	0,00	0,00

Produto	1994					2000				
	Amianto	Cimento	Resíduo	Calcário	Celulose	Amianto	Cimento	Resíduo	Calcário	Celulose
TTX	52,80	500,68	52,27	51,25	18,48	61,18	401,50	7,30	248,20	14,60
TOD	74,59	503,29	27,78	98,87	1,02	76,94	448,14	7,70	224,84	15,40
T 90	89,69	590,81	18,25	96,60	0,00	81,16	572,52	0,78	122,46	7,80

Quadro 5 – Evolução da dosagem das matérias-primas no processo de fabricação das telhas de cimento-amianto, segundo dados fornecidos pela Eternit – Colombo (PR) (Kg de matéria-prima X ton de produto).

A substituição de crisotila por outras fibras (especialmente celulose) tem reflexos na resistência mecânica. Além disso, a crisotila apresenta melhor aderência fibra-matriz por desenvolver tobermorita imbricada na zona de interface e por sua estrutura em feixe favorecer uma maior penetração da pasta nas fibras (KIOHARA, 1991). Além disso, a fibra apresenta maior durabilidade em relação a alterações, ataques químicos e variações do pH (OLIVEIRA, 1996).

Os tipos de alteração observados são mecânicos, biológicos, químicos e físico-químicos. A degradação mecânica manifesta-se por telhas quebradas (QB – UFPA Quebrada), por fissuras e por carreamento de material da superfície; a biológica pelo crescimento de material biológico na superfície da telha; a química por eflorescências e o físico-químico pela lixiviação da pasta e liberação das fibras. As telhas apresentam-se em graus de alteração muito variados.

O processo degenerativo mais abrangente é o físico-químico. O perfil de alteração da amostra Pavilhão Phebo, por exemplo, exprime as diversas etapas de degradação típicas da telha. O centro da telha encontra-se preservado, ocorrendo minerais facilmente lixiviáveis (portlandita), clínquer com pequeno halo de hidratação e carbonatação não observada. A superfície interna desenvolve zona de corrosão, que se caracteriza pela

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

presença de fibras, clínquer e sílica gelatinizada. Na direção do centro da telha, ocorre fina camada irregular de pasta com ausência de portlandita. Varrendo da superfície externa para o centro da telha, ao invés de desenvolver-se uma zona de corrosão, tem-se uma zona carbonatada microporosa seguida de uma zona carbonatada e uma lixiviada de portlandita.

Assim, de um modo geral, a alteração ocorre como uma frente de alteração, da porção externa e/ou interna para o centro da telha, conforme as fases abaixo:

1. Lixiviação total ou parcial de portlandita.
2. Carbonatação de C-S-H e portlandita não lixiviada, conforme as reações a seguir (ST JOHN; POOLE; SIMS, 1998):

Reação 1: $C-S-H + CO_2 \rightarrow \text{várias fases intermediárias} \rightarrow CaCO_3 + SiO_2 \cdot nH_2O + H_2O$

Reação 2: $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

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.
6. Liberação das fibras.
7. Aprofundamento da alteração.

Verificou-se por microscopia ótica e de varredura que as fibras da superfície mais externa estão destituídas da matriz, estando livres para serem carreadas pela água ou ar. As características ópticas, imagens de MEV e ensaios químicos do EDS (amostras Am-5.1 Eixos, Ondulada Refeitório descoberta, Pavilhão Phebo Descoberta) confirmaram a presença de sílica gelatinizada na zona de corrosão. Destaca-se o Mapa de Pontos de cálcio (FOTO 20, ANEXO D), que ilustra o limite entre zona de carbonatação – rica em cálcio - e zona de corrosão.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Este padrão de alteração diferente da zona interna e externa (ora forma-se zona de corrosão, ora de carbonatação) ocorre na maioria das amostras. Ressalta-se que a ausência da zona de corrosão não significa que essa não tenha se desenvolvido, pois sendo um material delicado, pode ter sido removido durante o processo de amostragem e confecção da seção delgada. É possível também que a zona corroída esteja sendo carregada por erosão (limpeza, vento etc). Possivelmente, a zona de corrosão seja o resultado da remoção da calcita formada por carbonatação da pasta na superfície da telha, restando somente fibras, clínquer e sílica gelatinizada, possivelmente remobilizada dos silicatos da pasta.

Também há diferenças nas telhas cobertas e descobertas para uma mesma amostra. Alguns exemplos são: A telha descoberta do Depósito Crespum desenvolve Zona de corrosão e a coberta não. Já a Ondulada Refeitório coberta desenvolve Zona de corrosão na base e microporosidade no topo, enquanto a ondulada refeitério descoberta apresenta somente Zona de corrosão no topo.

Ciclos de umedecimento e secagem mais lentos nas porções cobertas que nas descobertas influenciam no desenvolvimento de zonas de corrosão mais espessas nas primeiras. Exceção ocorre nas amostras Cumeeira refeitério – RJ, LUSO Tour e Hangar 6 e 7. Mais uma vez, diferenças em escala local têm grande influência para a degradação das telhas. O GRÁFICO 1 apresenta uma comparação entre a espessura da zona alterada externa das porções cobertas e descobertas das amostras.



Gráfico 1 – Diferença de espessura das porções cobertas e descobertas para cada amostra. Notar que, predominantemente, as porções cobertas desenvolvem alteração externa mais espessa.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Espera-se que as telhas descobertas apresentem as seguintes características:

- Zonas de corrosão mais espessas, por ser o estágio final da alteração;
- Maior porosidade (absorção d'água maior);
- Menor quantidade de portlandita, e conseqüentemente carbonatação mais intensa;
- Menor proporção pasta: fibra, uma vez que a pasta está mais lixiviada (resíduo insolúvel mais elevado);
- Menor quantidade de C-S-H.

A presença de agregados de opacos oxidados em diversas amostras, reflete uma interação entre o oxigênio da atmosfera e as fases oxidáveis. Isto evidencia que o ar está interagindo com o agregado, causando oxidação destas fases e a carbonatação da pasta.

Ressalta-se que a orientação preferencial das fibras gera descontinuidades para penetração de água e ar, formando faixas e lentes carbonatadas e/ou microporosas em meio a uma matriz menos carbonatada. Outro aspecto importante é que o carbonato pode ser remobilizado, vindo a colmatar os poros. Esta remobilização pode ocorrer em mais de uma etapa, conforme observado na amostra PB – P1 – UFPA. Nesta amostra ocorre uma frente de dissolução-reprecipitação de carbonato micrítico e uma zona carbonatada micrítica-esparítica é desenvolvida. Este processo de colmatação de poros é confirmado pelos resultados dos ensaios de absorção d'água (ANEXO E), no qual as telhas antigas são menos porosas que a telha Nova, devido ao volume da calcita ser 11% maior que o da portlandita e 2,5% maior que o do C-S-H (ST JOHN, POOLE, SIMS, 1998).

Fissuras podem ter diversas origens ou serem produzidas por uma soma de fatores. É provável que as amostras da Rodoviária de Curitiba estejam fissuradas devido a ruídos e vibrações deste estabelecimento. Nas amostras da Flanaço, a sulfatação (manifestada pela presença de gipso) pode ser responsável pelo fissuramento das telhas, por ser um mineral expansivo. A vibração alta deste ambiente também contribui para o fissuramento. As amostras Saúde – RJ descoberta, Pavilhão Phebo e Galpão DF apresentam fissuras na interface de zonas pouco carbonatadas com zonas carbonatadas, sendo estas possivelmente atribuídas a variações de volume decorrentes do processo de carbonatação.

Eflorescências de cristais de gipso em vazios e na superfície da telha é um processo degenerativo de ambiente industrial agressivo, pois, conforme citado

anteriormente, o gipso pode causar fissuramento da telha, corrosão e comprometimento da resistência mecânica. Camadas de carbonato também se depositam na superfície. Estes materiais são formados como produtos da reação entre emissões industriais e urbanas (CO_2 e SO_x) e o cálcio dos minerais da pasta, sendo que a calcita cristaliza-se a partir do CO_2 e o gipso a partir do SO_x atmosférico. Imagens de microscópio óptico e MEV confirmam que o gipso presente é de eflorescência, apresentando hábito placóide hexagonal (FOTOS 5 e 6, ANEXO D).

Óxidos de ferro e cristobalita/tridimita identificados por difração de raios-X na camada de sujidade das telhas da Flanaço (Osasco) corroboram as observações de campo de que o ar é rico em material particulado exalado pelo forno e este se deposita na superfície interna e externa da telha.

Análises petrográficas mostraram que as fibras acham-se fortemente impregnadas com a pasta, contribuindo para uma melhor adesão fibra-matriz (p.e. Ondulada Refeitório descoberta e Pavilhão Phebo descoberta). Tal fato se corrobora por microscopia eletrônica de varredura, no qual pode ser observado que as fibras estão impregnadas com carbonato proveniente da carbonatação dos hidratos do cimento. Conforme citado anteriormente, a tobermorita da zona de interface faz a âncora entre a fibra e a pasta por terem estruturas cristalinas semelhantes (KIOHARA, 1991). Uma vez carbonatada, a tobermorita, possivelmente se transforma em calcita, que é mais solúvel. Com a evolução da alteração, o carbonato da interface pode se solubilizar pela ação das chuvas ácidas ou da umidade e as fibras se liberarem mais facilmente quando o material sobrejacente for removido e as fibras atingirem a superfície.

A análise petrográfica mostrou também que telhas muito carbonatadas desenvolvem cristais de calcita maiores, formando uma matriz mais birrefringente e brilhante, sob luz polarizada. Imagens obtidas pelo MEV mostraram que os cristais de calcita da pasta carbonatada apresentam tamanhos da ordem de décimos de micrometros (p.e. Ondulada Refeitório descoberta) (FOTOS 19 e 31, ANEXO D).

A idade das telhas e o macroclima ao qual estão submetidas revelaram-se parâmetros pouco determinantes no grau de degradação das telhas; já microclimas, tais como ambientes industriais e o processo de fabricação mostraram-se mais significativos. Os GRÁFICOS 2, 3, 4 e 5 e os itens i a iv (após os gráficos) são evidências disso:

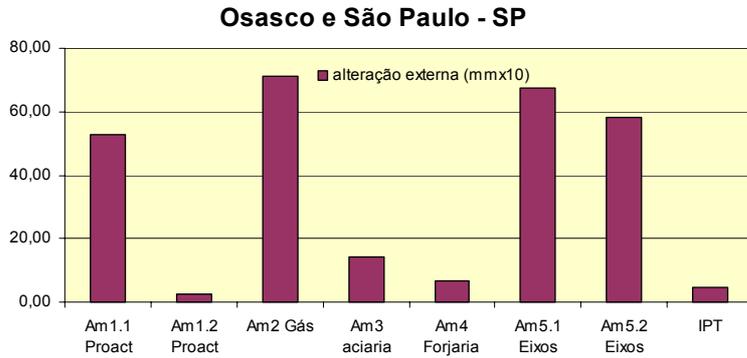


Gráfico 2 – Amostras de SP X Espessura de alteração. Notar que telhas de um mesmo local (Flanaço) porém de diferentes edificações podem apresentar espessuras muito distintas.

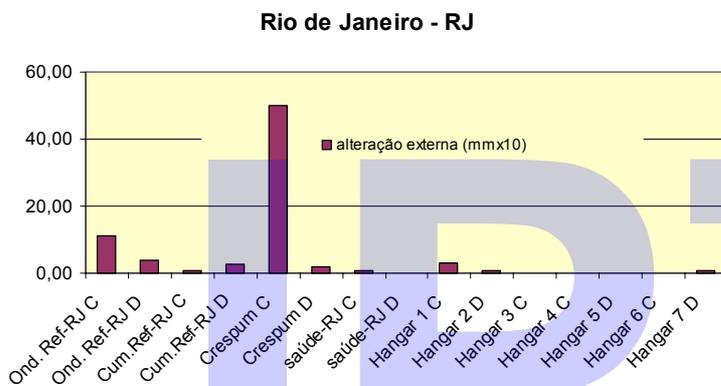


Gráfico 3 – Amostras do Rio de Janeiro X Espessura de alteração. Notar que as telhas apresentam espessuras de alteração relativamente pequenas.

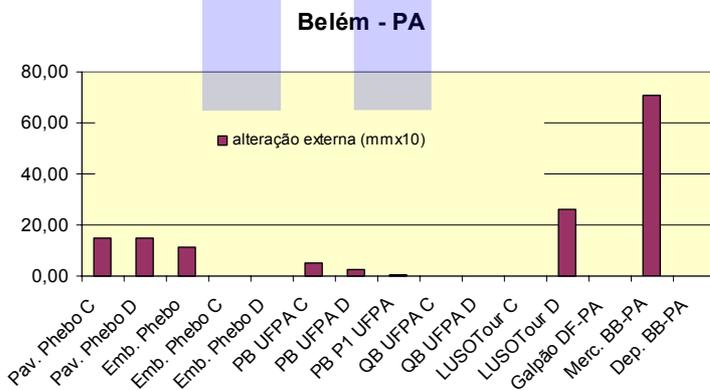


Gráfico 4 – Amostras de Belém X Espessura de alteração. Notar que espessuras de alteração podem variar bastante para a mesma cidade.

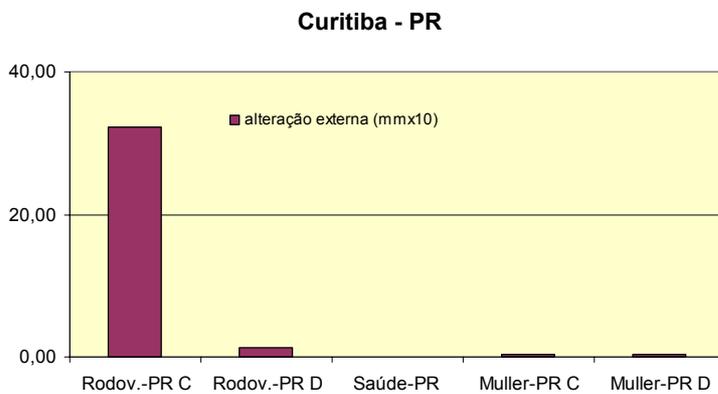


Gráfico 5 – Amostras de Curitiba X Espessura de alteração. Notar que espessuras de alteração podem variar bastante para a mesma cidade.

i) Das telhas do Rio de Janeiro (exceto as do Hangar do Zeppelin), as mais íntegras são as mais antigas da cidade (35 anos) e localizadas em ambiente mais agressivo (sujeito aos aerossóis marinhos da Ilha do Fundão, Baía de Guanabara): apresentam zona de corrosão pouco espessa, baixa porosidade secundária, portlandita e carbonatação moderada, indicando baixo grau de degradação.

ii) Telhas mais antigas podem estar menos deterioradas que telhas mais novas, mesmo quando submetidas às mesmas condições ambientais, evidenciando que a idade pode não ser fator determinante para o grau de degradação. Um exemplo são as telhas do Refeitório Eternit, mais antigas que as do depósito Crespum. Ambas encontram-se fortemente carbonatadas, mas a segunda, mais nova, desenvolveu porosidade secundária muito maior. Outro exemplo são as do Pavilhão Phebo e Embalagens Phebo, ambas situadas na Fábrica da Phebo, bem como as da UFPA.

O GRÁFICO 6 (Idade X Espessura da alteração externa) evidencia que para todas as idades (aproximadamente 15 a 70 anos) as telhas podem desenvolver alteração externa espessa.

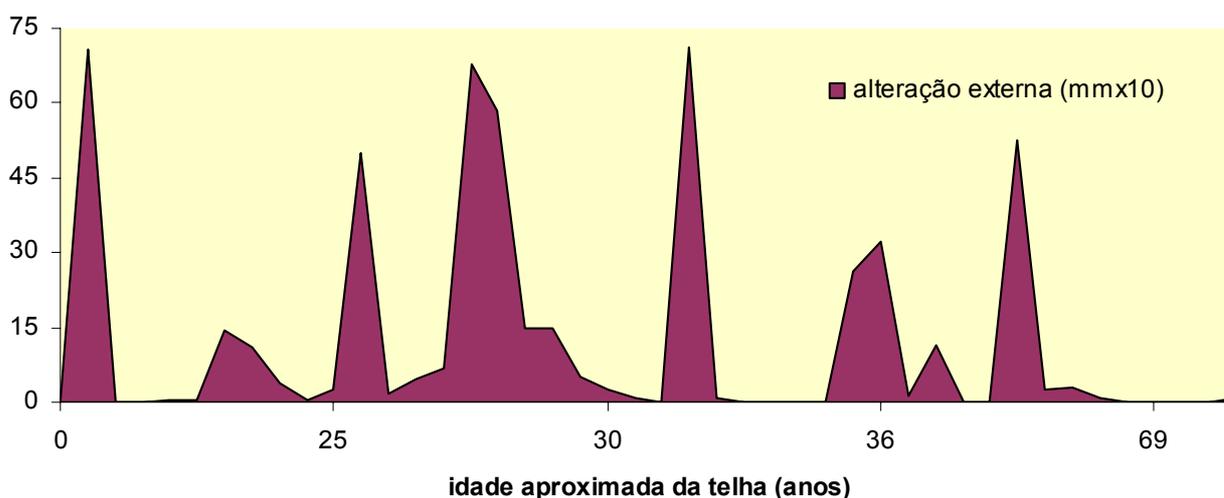


Gráfico 6 – Idade X Espessura da alteração externa. Para todas as idades há telhas com alteração externa espessa.

iii) As telhas sujeitas ao microclima industrial em clima subquente de Osasco estão mais afetadas do que as submetidas ao clima quente e com aerossóis marinhos do Rio de

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Janeiro. A abundância de gipso na superfície e em vazios irregulares nas telhas da Flanaço (Osasco) e a ausência nas telhas procedentes do Rio de Janeiro são evidências disso. As amostras do Hangar do Zeppelin e da Ilha do Fundão situam-se a poucos quilômetros do mar, e em local desprovido de barreiras naturais que pudessem impedir que o ar rico em aerossóis marinhos atingisse as telhas. Entretanto, estas telhas não apresentam sinais de deterioração.

iv) As porções expostas à insolação (telhas descobertas e faces externas) estão mais sujeitas a ciclos de umedecimento e secagem que as porções protegidas (telhas cobertas e faces internas). Estas, no entanto, permanecem úmidas por mais tempo, podendo acelerar o processo de degradação. Observações de campo, do tipo manchas de escorrimento de água no local amostrado, bem como os resultados das análises petrográficas corroboram o fato da deterioração ser mais intensa nas porções que permanecem unidas por mais tempo.

Evidências de que o processo produtivo é uma variável importante para a durabilidade podem ser observadas nas telhas mais antigas (Hangar do Zeppelin, 70 anos) sendo as mais íntegras e com porosidade relativamente baixa (ANEXO E). Com isso, supõe-se que a pasta cimentícia teria sofrido menos alterações. Assim, apesar de sujeita a um ambiente agressivo (temperatura, pluviosidade, umidade e salinidade alta), a telha apresenta boa durabilidade.

O tipo de telha não parece relacionar-se com o grau de deterioração da mesma. As telhas Am-1.1 Proact, Saúde-RJ, Pavilhão Phebo, Embalagens – Phebo Coberta e descoberta, e Rodoviária Ctba são do tipo cumeeira ou canaleta, enquanto as demais são onduladas. Estas amostras, ora estão mais deterioradas, ora menos quando comparadas às equivalentes do local amostrado.

A presença de material de natureza vegetal (musgo) na telha Shed Am-1.1 acarreta manchamento da telha e propicia o crescimento de espécies que favorecem a degradação da telha.

Com relação aos ensaios de absorção d'água, segundo as especificações 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*, o limite máximo para absorção de água, realizada conforme o método C 459 – 1991 é de 25% para os tipos I e II, que são produtos de

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

cimento-amianto, tais como, chapas onduladas de cimento-amianto prensadas e autoclavadas e chapas onduladas prensadas, respectivamente. Este limite pode ser adotado para um produto novo. Qualquer valor abaixo de 25% de um artefato protegido das intempéries, pode significar ocorrência de carbonatação, e esta, por sua vez, promove a colmatação dos poros, impedindo a entrada de água.

Os dados obtidos no ensaio de absorção de água de uma amostra de telha Nova foram coerentes com a sua condição de “nova”, atingindo 24,3% de absorção de água, e por esse fato, essa amostra pode representar quase uma referência para as demais amostras ensaiadas. As porções cobertas das telhas também são referências em relação aos respectivos pares descobertos.

O gráfico absorção de água X idade, apresentado no GRÁFICO 7, mostra que as telhas cobertas apresentam menor porosidade do que as descobertas devido ao aumento da porosidade original por degradação causada por agentes agressivos ao cimento. Ao longo dos anos, apenas a amostra Embalagens – Phebo Coberta, com cerca de 40 anos, apresentou absorção superior às demais amostras.

As amostras descobertas, desprotegidas das intempéries, (Crespum, Saúde – RJ, Hangar 5, Embalagens Phebo e Passarela PB UFPA) apresentaram resultados que variaram entre 10,9 e 33,5% de absorção de água. A TABELA 1, ANEXO E e o GRÁFICO 7 mostram que os índices de absorção das amostras 690/05, 691/05 e 751/05 foram ligeiramente superiores aos dos respectivos pares de telhas cobertas e inferiores ao resultado da amostra de telha nova. Entretanto, percebe-se que este fato já sinaliza um aumento da porosidade por conta da provável perda de pequena porção da matriz de cimento, por lixiviação da pasta de cimento.

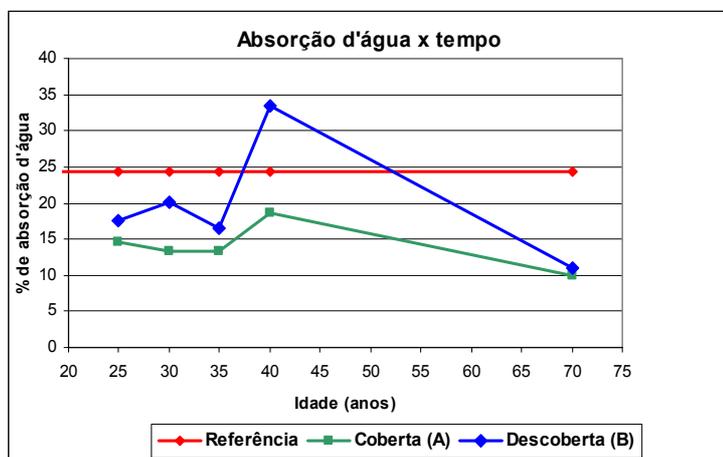


Gráfico 7 – Absorção d'água X tempo.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Para avaliar os resultados obtidos nos ensaios químicos, foram considerados como referência os dados da amostra da telha Nova, apesar das diferenças da época de fabricação, das matérias-primas e, provavelmente, do processo de produção. Como se trata de uma telha fabricada recentemente e sem uso, o valor de 14,6% de CO₂ pode não ser devido somente à carbonatação, mas à presença de material carbonático e fibra de celulose empregados na fabricação da telha.

As outras amostras apresentaram taxa de umidade variando entre 1,33% e 1,89% com média de 1,54% para telhas cobertas e 1,68% para as telhas descobertas, portanto abaixo dos 2,26% da telha Nova. Lembra-se que essas amostras se referem às telhas em uso há algumas décadas. Apresentaram, também, taxas de CO₂ superiores à da telha Nova, variando de 17,3 a 26,7% para as telhas cobertas e de 16,9 a 26,2 % para as telhas descobertas, indicando a ocorrência de carbonatação. Assim, não se observou diferença considerável entre ambas as condições, que representa o total de CaO + Ca(OH)₂ presente no material.

Quanto ao teor de CaO livre, as taxas foram notadamente menores do que o teor de CaO livre obtido na amostra de telha Nova (GRÁFICO 8). Os valores variaram entre 0,12 e 0,47% para as telhas cobertas e entre 0,14 e 0,77% para as telhas descobertas, contra o teor de 3,51% da telha nova. Este fato está coerente com os teores de CO₂. Praticamente, todo CaO livre que poderia ser encontrado nessas amostras, está carbonatado. Os resultados do teor de cal livre das telhas cobertas e descobertas apresentaram uma diferença insignificante, de uma para outra, a qual pode estar atrelada à condição de exposição.

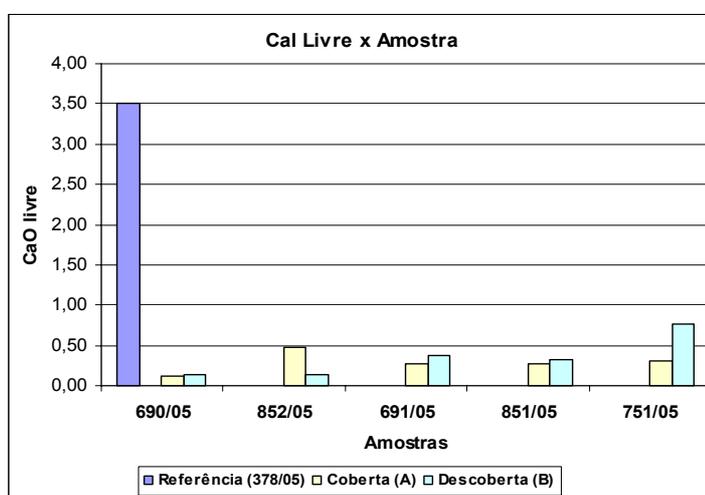


Gráfico 8 – Cal livre x Amostra.

Quanto ao resíduo insolúvel (RI), o teor determinado pode representar, com algumas ressalvas, o teor de fibra de amianto no compósito. Entretanto, há que se levar em conta a presença de quartzo, pozolana, e outros, que também são insolúveis em ácido clorídrico. As amostras de telhas cobertas apresentaram teores de resíduo insolúvel variando de 12,7% a 17,5%, e as amostras de telhas descobertas, entre 12,7% e 20,4%, (GRÁFICO 9); com as respectivas médias de 15,6% e 16,3%, e ligeiramente, superiores ao teor de 14,6% da telha Nova.

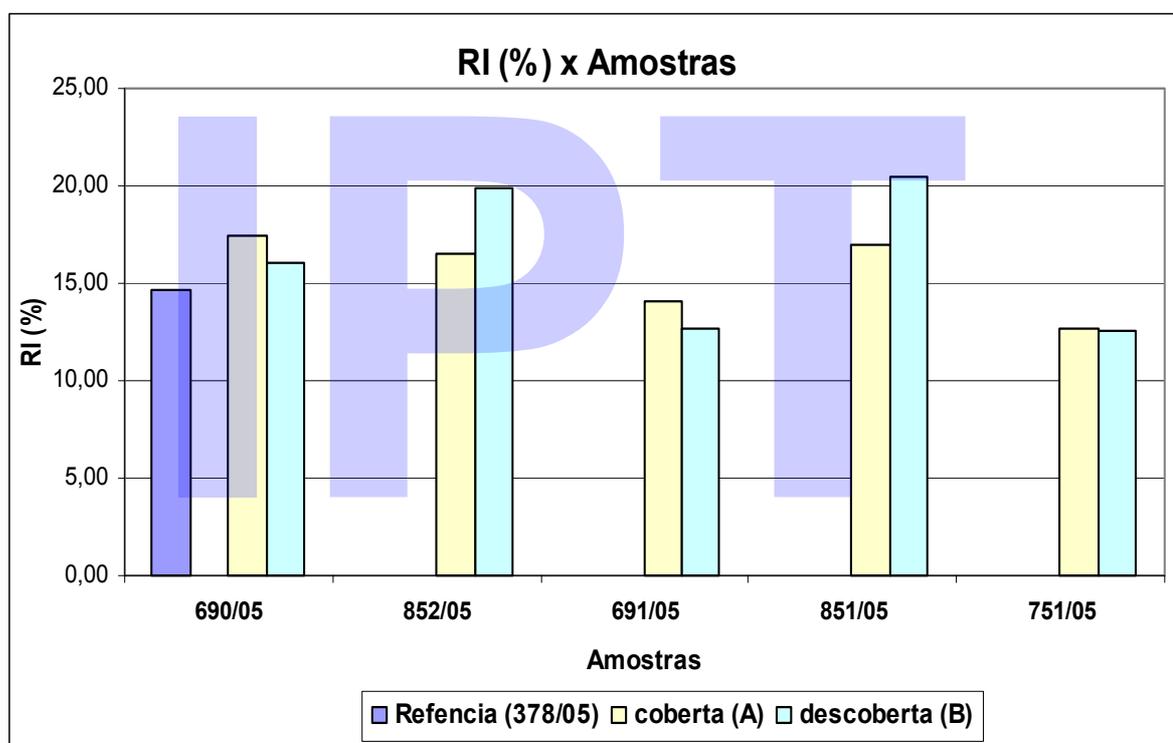


Gráfico 9 – Resíduo insolúvel X Amostras

Ainda, com relação ao RI, foram observadas diferenças insignificantes entre os valores encontrados nas amostras (cobertas e descobertas), Crespum, Saúde - RJ e Hangar 4 e 5; nas amostras (cobertas e descobertas), enquanto nas amostras Embalagens – Phebo e Passarela PB UFPA, essas diferenças já são notáveis. Houve, na realidade, um aumento da taxa de RI da amostra de telha coberta para a descoberta de 20%, denotando uma provável perda de fração da matriz de cimento por lixiviação, face à condição de exposição em ambiente úmido.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Os demais teores determinados (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO e MgO), teoricamente, deveriam representar o cimento utilizado na mistura. Entretanto, se considerar os dados obtidos da amostra de telha Nova (GRÁFICO 10 – amostra 378/05), verifica-se que as misturas ou dosagens atuais não correspondem àquelas que eram produzidas há cerca de 25 ou 30 anos atrás, a notar pela inclusão de calcário e celulose na mistura (QUADRO 5).

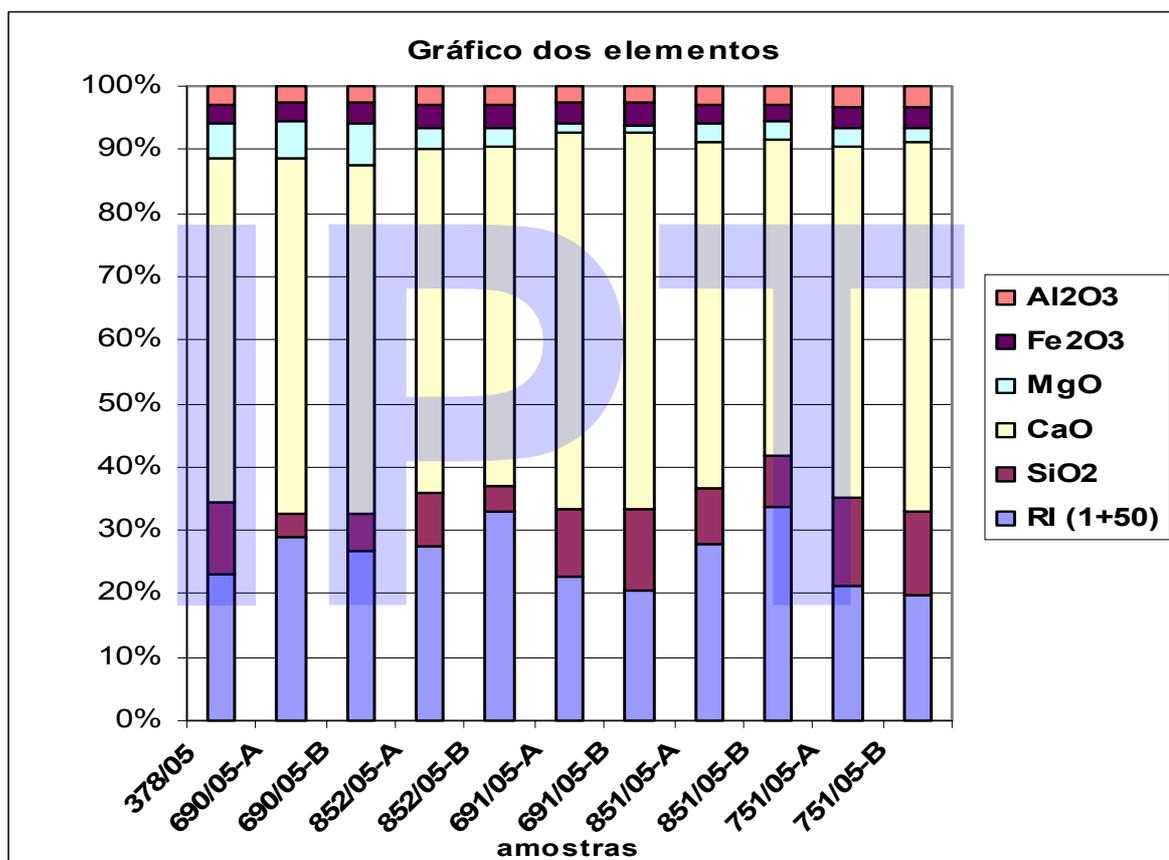


Gráfico 10 – Gráfico dos compostos e parâmetros químicos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostragem das telhas em diversas cidades do Brasil (Curitiba, Osasco, São Paulo, Rio de Janeiro e Belém) 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. Observou-se que os fatores mais significativos para a deterioração são de escala local (microclimas), podendo variar de um lugar para outro de uma mesma

edificação, ou para a porção coberta ou descoberta de uma mesma telha. Assim, estes fatores locais se sobrepõem aos mais globais.

Tempo longo de exposição às intempéries não é sinônimo de telha deteriorada. Entretanto, modificações dos processos produtivos ao longo do tempo têm grande significado. Isso explicaria a boa durabilidade da telha mais antiga (Hangar do Zeppelin, 70 anos). Granulometria do clínquer, uso de fíler calcário e fibras de celulose têm implicações nas propriedades e no desempenho dos materiais.

Fibras de celulose podem se degradar mais rápido em ambientes agressivos. A substituição parcial de cimento por fíler calcário influencia no desempenho e durabilidade à medida que se reduz a quantidade de cimento, ocasionando ainda um aumento da porosidade da telha.

O ambiente que se mostrou mais agressivo às telhas é o industrial, devido às reações das emanções industriais com os minerais do cimento, formando produtos expansivos e corroendo a pasta. Outros fatores, como temperatura alta e vibração por tráfego de veículos pesados, contribuem para formação de porosidade secundária e fissuras, respectivamente.

Nos locais onde há um favorecimento da deterioração na porção interna da telha (Flanaço, Hangar do Zeppelin e UFPA) deve-se alertar para o fato de que as fibras eventualmente liberadas poderão ir para as dependências internas da edificação. Deve-se atentar que a posição vertical de instalação das telhas pode diminuir a susceptibilidade face às intempéries.

A presença de material biológico em telhas de todas as cidades amostradas é mais um fator que contribui para a redução da durabilidade deste material.

A última revisão da norma para resíduos sólidos (NBR 10004/04 - Resíduos sólidos - Classificação) coloca o amianto na categoria dos resíduos perigosos, prevendo uma série de ensaios para sua caracterização. Entre esses ensaios está o de lixiviação (NBR 10005/04 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos).

Ressalta-se, no entanto, que a crisotila é um silicato de magnésio hidratado ($[\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$), podendo conter pequenas proporções de Ti, Al, Fe^{+2} , Fe^{+3} , Mn, Ca, Na, ou seja, não apresenta em sua composição química elementos químicos nocivos à

saúde. Também não foram identificados minerais secundários como produto de alteração das fibras de amianto. As transformações mineralógicas e químicas ocorrem como frentes de alteração da pasta. Os hidratos do cimento tendem a se carbonatar e a calcita formada, na presença de umidade, pode ser dissolvida ou remobilizada, gerando uma perda de massa do cimento nas porções mais externas, ocasionando a liberação das fibras embutidas na pasta, para o meio ambiente.

A velocidade deste processo vai depender dos agentes agressivos dos quais as telhas estarão sujeitas.

O problema relacionado ao amianto é físico, sua periculosidade deve-se à aspiração das fibrilas, que dependendo da dose e do tempo de exposição, podem ser prejudiciais à saúde. Segundo SPURNY (1998), apesar das alterações cristal químicas das fibras lixiviadas, as fibras alteradas não têm potencial carcinogênico maior que as inalteradas. O principal elemento químico liberado pelas fibras ao longo do tempo é o magnésio, que não oferece riscos à saúde.

Portanto, julgamos ser dispensável o ensaio de lixiviação do compósito, porque entre os constituintes da telha, o amianto é o único material classificado como perigoso no resíduo.

Ressalta-se a importância da execução de diversos métodos analíticos, pois cada um fornece um tipo de informação. Assim, além de complementares, confirmam evidências pouco claras por um único método, mas que aparecem melhor em outro. Um exemplo é que a partir dos dados de ensaios de absorção e químicos foi possível compreender melhor a influência do clima sobre as amostras, enquanto por métodos petrográficos e mineralógicos, distinguiram-se melhor as alterações microclimáticas.

8 CONCLUSÕES

A partir da integração do conjunto de ensaios e análises realizados ao longo de um ano de estudos podemos sumarizar as seguintes conclusões gerais:

- a) De um modo geral as telhas encontram-se em bom estado de conservação, muito embora a amostragem tenha procurado abranger telhas de idades elevadas e retiradas, muitas vezes, de locais com ambientes agressivos;

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

- b) As condições particulares de cada telha (micro-clima e presença de emissões gasosas e de particulados) revelaram-se os fatores preponderantes para a sua alteração e, ao contrário do que se imaginava, não o clima regional;
- c) O fator climático mais importante na degradação dos compósitos de cimento-amianto é a umidade, responsável pelo processo que leva ao aumento da porosidade da telha;
- d) Aspectos de degradação observados acham-se restritos às camadas mais superficiais da telha, tanto na parte externa quanto na interna (por exemplo nas amostras da Metalúrgica). Na maior parte das amostras a alteração observada é de lixiviação da pasta, implicando em pouca ou nenhuma liberação de fibras (o que se deve provavelmente à forte trama formada pelo entrelaçamento das fibras de crisotila entre si e com a tobermorita);
- e) “Telhas” ou placas cimentícias dispostas verticalmente apresentaram grau de degradação menor do que as telhas dispostas na horizontal, com função de telhas propriamente ditas;
- f) Não se observou diferença importante na degradação das telhas conforme a classificação das mesmas (ondulada, shed, canaleta, etc);
- g) A telha coberta com espuma rígida pintada apresentou grau de degradação muito pequeno, ou seja, a cobertura funcionou como barreira para a alteração provocada pelas intempéries;
- h) Ao contrário do que inicialmente se supunha, nas telhas cobertas a camada alterada apresenta-se mais espessa que nas telhas descobertas correspondentes, provavelmente porque nas telhas cobertas a umidade permanece por mais tempo, provocando dissolução dos minerais do cimento e propiciando a carbonatação;
- i) Para se atingir boa durabilidade dos produtos à base de cimento Portland, é importante a utilização de matérias-primas de boa qualidade, emprego de dosagem adequada dessas matérias primas e um processo de fabricação cuidadoso.

9 COMENTÁRIOS FINAIS

Este trabalho representa uma contribuição para o entendimento dos processos de

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

alteração que podem afetar o estado geral das telhas de cimento-amianto. Foram apontados a umidade e poluição gasosa das emissões industriais como fatores importantes para a degradação do cimento-amianto, no entanto, a investigação não está esgotada.

Recomenda-se, portanto, a continuidade deste estudo, visando a comprovação da influência desses fatores de degradação, bem como a quantificação das fibras eventualmente liberadas no processo de degradação. Para isso, será necessária a execução de ensaios de alteração acelerada em câmaras climáticas, com controle de emissão de gases, tais como: SO_x, CO₂ e NO_x.

Prevê-se, também, avaliar a perda de fibras por desgaste à abrasão, bem como a execução de ensaios de ciclagem entre períodos secos e úmidos, com o controle das perdas que possa haver no decorrer dos ensaios, e mantendo as condições ambientais mais agressivas.

O estudo poderia abordar ainda o controle das fibras que possam estar se despreendendo para o ar, utilizando-se outros métodos, tais como aspiração para posterior medição.

São Paulo, 27 de abril de 2006.

**CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE
INFRA-ESTRUTURA**
Laboratório de Materiais de Construção Civil

Geól^a Dra. Mírian Cruxên Barros de Oliveira
Responsável Técnica
CREASP Nº 0800124670 – RE Nº 5443

**CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE
INFRA-ESTRUTURA**
Laboratório de Materiais de Construção Civil

Quím. Mestre Valdecir Ângelo Quarcioni
Responsável pelo Laboratório
CRQ nº 04212772 – RE nº 6741

**CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE
INFRA-ESTRUTURA**

Eng^o Dr. José Maria de Camargo Barros
Diretor do Centro
CREA nº 56.506/D – RE nº 3010.6

MCBO/mfg.

EQUIPE TÉCNICA**LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Gerente do projeto: Mírian Cruxên Barros de Oliveira – Geóloga

Eduardo Brandau Quitete – Geólogo

Mariana de Paula Souza Zuquim – Geóloga

Priscila Rodrigues Melo Leal – Geóloga

Daniel Martins Aleixo - Químico

Fabiano Ferreira Chotoli - Químico

Maria Cecília Florindo – Colaboradora

Valdecir Angelo Quarcioni – Químico

Jilson Cardoso - Técnico

Eli Arruda Toledo – Técnico

Valentim Jose da Silva Filho - Técnico

Severino Jose da Silva - Técnico

Wilma Colaço – Técnica Química

Mario Sergio Guilge – Técnico Químico

Pedro Carlos Bilesky - Técnico

Rafael Atsushi Kanke – Bolsista

Apoio Administrativo

Maria Lúcia Félix Gonçalves – Secretária

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO AMIANTO - ABRA. 1993. **Amianto, saúde: atualização**. São Paulo: ABRA. 67p.

_____. 1995. *O amianto no Brasil*. São Paulo: ABRA. 47p.

KIYOHARA, P.K. 1991. **Estudo da interface crisotila-cimento Portland em compósitos de fibro-cimento por métodos óptico-eletrônicos**. São Paulo. 124p. (Tese de Doutorado, apres. EPUSP).

OLIVEIRA, M.C.B. 1996. **Caracterização tecnológica do minério de crisotila da Mina de Cana Brava, GO**. Tese de doutorado apres. IGUSP. 250 p.

OLIVEIRA, M.C.B., ZUQUIM, M.P.S., QUITETE, E.B. 2005. **Estudo da degradação ao longo do uso dos produtos de cimento-amianto pela exposição às intempéries**. São Paulo: IPT. 45p (IPT Relatório Parcial Nº 79 873-205)

SARKAR, S. L.; JOLICOEUR, C. ;KHORAMI,J. 1987. **Microchemical and microstructural investigations of degradation in asbestos-cement sheet**. Cement and Concrete Research,v.17,p.864-874.

SANTOS, P.S. 1975. Amiantos industriais e argilas níquelíferas. In: _____. **Tecnologia de argilas**. São Paulo: Edgard Blucher: Edusp. v. 2, cap. 31, p. 728-775.

SANTOS, P.S., SANTOS, H.S. 1978. Estudos comparativos de amiantos por microscopia eletrônica. *Cerâmica*, v.24, n.98, p. 77-90.

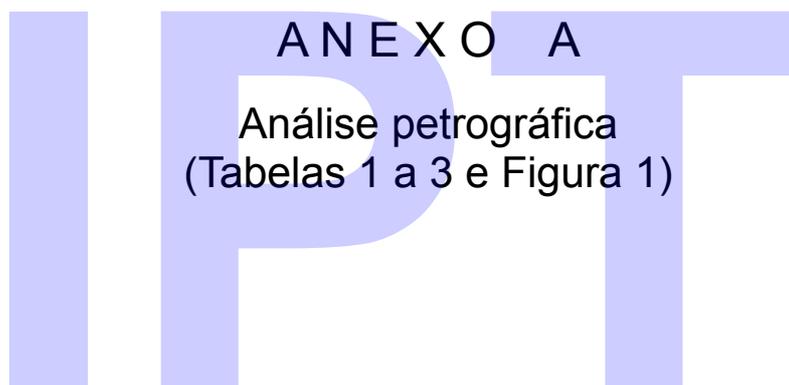
SAVASTANO JR, H. 1992. **Zonas de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito**. São Paulo. 249p. (Tese de Doutorado, apres. EPUSP).

SAVASTANO JR, H., DANTAS, F.A.S., AGOPYAN, V. 1994. **Materiais reforçados com fibras: correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as propriedades mecânicas**. São Paulo: IPT. (IPT. Publicação, 2158; Boletim, 67).

SPURNY, K.R. 1988. **On the release of asbestos fibers from weathered and corroded asbestos cement products**. *Environmental Research*. V.48, p. 100-116.

ST. JOHN, D.A.; POOLE, A.B.; SIMS, I. 1998. **Concrete Petrography – a handbook of investigative techniques**. London, Arnold. 474p.

WOODS, A.L. 2000. **Keeping a lid on it: Asbestos-cement building materials**. Preserving the Recent Past 2 Conference, Philadelphia,



ANEXO A

Análise petrográfica
(Tabelas 1 a 3 e Figura 1)

Tabela 1: Distribuição das fases e composição mineralógica das telhas da Fábrica Flanaço – Osasco.

Local Cidade Estado	Amostra	Distribuição de fases (%)				Composição mineralógica do agregado (%)						
		Pasta		Agregado	Vazios	Crisotila	Fíler calcário	Opacos	Celulose	Vidro	Quartzo	Bt + Ms
		Hidrato	Clínquer									
Flanaço Osasco SP	AM-1.1 Proact	80-85	5-10	10	<5	40	tr	tr	-	55	-	-
	Am-1.2 Proact	50-55	10-15	25-30	5-10	50-55	-	5	-	35-40	-	-
	Am-2 Gás	80-85	<5	10	5	90-95	-	<5	-	-	<5	-
	Am-3 Aciaria	85-90	<5	5-10	<5	65-70	20	<5	-	5-10	-	-
	Am-4 Forjaria	60	15	20-25	<5	90-95	-	<5	-	-	5-10	-
	Am-5.1 Eixos	50	25-30	20	<5	85-90	-	<5	-	-	10	-
Am-5.2 Eixos	80-85	-	15	<5	15	40-45	<5	-	40	-	-	
Eternit Curitiba PR	Nova	75-80	<5	15-20	<5	35	50-55	<5	-	-	10	-
IPT São Paulo SP	IPT	75-80	5-10	15	<5	70	tr	<5	-	20	<5	-
Refeitório Eternit Rio de Janeiro RJ	Ondulada refeitório Coberta	70-75	<5	20	<5	85-90	-	<5	-	<5	5-10	-
	Ondulada refeitório Descoberta	85-90	<5	10	<5	80-85	-	5	-	<5	5-10	-
	Cumeeira refeitório Coberta	50-55	10	30	5-10	35-40	45-50	<5	5-10	-	5-10	<5
	Cumeeira refeitório Descoberta	60	5	30	5	50	35	tr	tr	-	5	<5
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Crespum Coberta	65-70	<5	15	15	40-45	50-55	tr	<5	<5	<5	tr
	Crespum Descoberta	55-60	<5	35	5	50-55	40-45	tr	<5	<5	<5	-
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Saúde – RJ Coberta	65-70	10-15	15	5	95	-	tr	-	-	tr	-
	Saúde - RJ Descoberta	35-40	30-35	20-25	<5	80	-	tr	-	tr	tr	-
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar 1	70-75	15-20	10	<5	85-90	-	5	-	-	5	-
	Hangar 2	70-75	15-20	10	<5	85-90	-	5	-	-	5	-
	Hangar 3	70-75	15-20	10	<5	85-90	-	5	-	-	5	-
	Hangar 4	70-75	15-20	10	<5	75	-	tr	-	-	15	-
	Hangar 5	80-85	5-10	5-10	<5	80	tr	tr	-	-	10	-
	Hangar 6	70-75	10-15	10-15	<5	80-85	tr	<5	-	-	<5	-
	Hangar 7	75-80	10	10	<5	80-85	tr	<5	-	-	<5	-

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Distribuição de fases (%)				Composição mineralógica do agregado (%)						
		Pasta		Agregado	Vazios	Crisotila	Fíler calcário	Opacos	Celulose	Vidro	Quartzo	Bt + Ms
		Hidrato	Clínquer									
Fábrica Phebo Belém PA	Pavilhão Phebo	60	-	35-40	<5	30-35	60	<5	-	-	-	-
	Embalagens - Phebo	85-90	<5	5-10	<5	50	45	tr	-	-	tr	-
	Embalagens - Phebo Coberta e Descoberta	80-85	<5	10	5	95	-	tr	-	<5	-	-
UFPA Belém PA	Passarela PB - UFPA Coberta e Descoberta	70	10	10-15	5-10	85	<5	<5	tr	-	<5	-
	PB - P1 - UFPA	90-95	<5	5	<5	95	<5	-	-	-	<5	-
	QB - UFPA Coberta e Descoberta	85-90	<5	10	<5	90-95	-	-	tr	5	-	-
LUSO Tour Belém PA	LUSO Tour Coberta e Descoberta	60-65	<5	30-35	<5	40-45	45-50	<5	-	5-10	<5	-
DF impermeabilizantes Belém PA	Galpão - DF	65-70	10-15	15-20	<5	90-95	<5	<5	-	<5	tr	-
Banco do Brasil Belém PA	Mercadoria BB	80-85	<5	5-10	10	90	tr	<5	-	-	5	-
	Depósito BB	85-90	<5	5-10	<5	95	-	tr	-	-	<5	-
Rodoviária Curitiba PA	Rodoviária Ctba Coberta e Descoberta	45-50	20-25	25	5	30-35	<5	<5	-	65	-	-
Secretaria de Saúde Curitiba PR	Saúde Ctba	60-65	20-25	10-15	<5	80-85	-	tr	-	-	10-15	-
Shopping Muller Curitiba PR	Muller Coberta e Descoberta	50-55	25-30	20	<5	50	10	10	-	30	-	-

Tabela 2: Descrição das fases das telhas

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das fases		
		Pasta	Agregado	Vazios
Flanaço Osasco SP	AM-1.1 Proact	<ul style="list-style-type: none"> - cor heterogênea: marrom médio (mais microporosa) e marrom clara (menos microporosa). - carbonatação intensa e homogênea (FOTO 23) - presença de minerais de cimento (belita) com forte halo de hidratação provavelmente composto por C-S-H amorfo. - minerais de cimento de 0,02 mm a "cachos" de 0,27 mm - raros minerais aciculares, disseminados na pasta (etringita?) 	<ul style="list-style-type: none"> - granulometria: fibras sub-microscópicas (grãos de agregados de fibrilas e provável serpofita) a 0,8 mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,03 mm a 0,20 mm, predominando de 0,04 mm a 0,14 mm. - fibras com forte impregnação de material da matriz (FOTO 23) e orientadas subparalelamente à superfície - grãos de opacos e raros grãos de óxidos/hidróxidos de ferro geralmente associados ao amianto. - opacos freqüentemente alterados para óxidos e hidróxidos de ferro 	<ul style="list-style-type: none"> - raras microfissuras paralelas à telha e com até 3,1 mm de comprimento. Propagam-se pela pasta e pelas fibras. - vazios irregulares predominantemente próximos à superfície externa. (0,08mm a 0,40mm) - microporosidade na pasta predominantemente próximo à zona externa. (FOTO 23) - Bolha de ar aprisionado: submilimétrica, localmente preenchida por calcita ou material marrom microcristalino e escuro. - Raros vazios de grãos arrancados, próximos à superfície. (FOTO 22)
	Am-1.2 Proact	<ul style="list-style-type: none"> - cor homogênea, marrom médio. - carbonatação moderada e heterogênea. - presença de minerais de cimento (belita) com forte halo de hidratação provavelmente composto por C-S-H amorfo. - minerais de cimento de 0,02 mm a "cachos" de 0,22 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - granulometria: fibras sub-microscópicas (grãos de agregados de fibrilas e provável serpofita) a 0,1 mm diâmetro de e 1,6 mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,03 mm a 0,28 mm, predominando de 0,09 mm a 0,13 mm. - fibras orientadas subparalelamente à superfície - fibras com forte impregnação de material da matriz na zona interna (FOTOS 28 e 29). - carbonato na borda de agregados. (FOTO 32) - grãos de opacos e raros grãos de óxidos/hidróxidos de ferro geralmente associados ao asbesto. 	<ul style="list-style-type: none"> - microfissuras - vazios irregulares predominantemente próximos à zona externa, em faixas subparalelas (0,02 mm a 0,65 mm) - microporosidade na pasta predominantemente próximo à zona externa, como "faixas" finamente ramificadas orientadas subparalelamente à orientação das fibras.
	Am-2 Gás	<ul style="list-style-type: none"> - carbonatação intensa e heterogênea. - presença de minerais de cimento (belita) com forte halo de hidratação. 	<ul style="list-style-type: none"> - granulometria: fibras de 0,09 a 1,56 mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,05 mm a 0,74 mm. - fibras com forte impregnação de material da matriz. - Presença de crocidolita (clinoanfólio) 	<ul style="list-style-type: none"> - vazios irregulares por ora preenchidos, parcialmente ou totalmente, por gipso (0,14 a 4,37mm) - microporosidade na pasta predominantemente próximo à zona externa, como "faixas" e lentes
	Am-3 Aciaria	<ul style="list-style-type: none"> - Faixas intensamente e pouco carbonatadas, predominando carbonatação moderada e heterogênea - faixas carbonatadas geralmente são microporosas - presença de clínquer residual 	<ul style="list-style-type: none"> - granulometria: fibras de 0,18 a 2,44 mm de comprimento. Outros agregados possuem ≈0,07 mm. - fibras com forte impregnação de material da matriz. 	<ul style="list-style-type: none"> - microporosidade na pasta - vazios irregulares (de 0,09 a 0,69mm) - grande vazio entre fibras (de 5,75mm de comprimento e 1,29mm)

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das fases		
		Pasta	Agregado	Vazios
Flanaço Osasco SP	Am.4 Forjaria	<ul style="list-style-type: none"> - Cor heterogênea, matriz escura, amarronzada/alaranjada, devido à impregnação por hidróxidos de ferro (FOTOS 34 e 36) com lentes claras. - As lentes são alongadas, subparalelas entre si. São mais porosas (microporos e vazios irregulares) e apresentam grau de carbonatação mais elevado. (FOTO 35). - Carbonatação moderada e heterogênea, mais intensa nas lentes mais claras. - Vazios irregulares se concentram nas lentes claras e próximo a superfície. - Presença de rosetas de gipso (FOTOS 37 e 38) impregnadas com hidróxidos de ferro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: fibrilas de crisotila sub-microscópicas (grãos de agregados de fibrilas e provável serpofita) a 3,0 mm, com predomínio de 0,2 mm a 0,5 mm. - O clínquer é principalmente belita, devido ao seu hábito tipo cacho-de-uva (FOTO 35). Apresenta halo de hidratação, provavelmente composto por C-S-H amorfo. (FOTO 39) 	<ul style="list-style-type: none"> - Irregulares: contornando o agregado, sem preenchimento. De 0,02 mm a 1,03 mm. - Microporosidade na pasta: principalmente nas lentes claras.
	Am-5.1 Eixos	<ul style="list-style-type: none"> - Carbonatação intensa e homogênea - presença de lentes microporosas - presença de clínquer residual com até 1,7mm de diâmetro 	<ul style="list-style-type: none"> - granulometria: fibras de 0,09 a 2,3 mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,1 mm a 0,41 mm. - fibras com forte impregnação de material da matriz - presença de opacos extremamente oxidados 	<ul style="list-style-type: none"> - vazios irregulares por ora preenchidos, totalmente a parcialmente, por gipso - microporosidade em lentes e regiões alongadas paralelamente à superfície
	Am-5.2 Eixos	<ul style="list-style-type: none"> - Carbonatação intensa e homogênea - presença de clínquer residual 	<ul style="list-style-type: none"> - granulometria: fibras de 0,1 mm a 2,5 mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,06 a 0,37mm. - fibras com forte impregnação de material da matriz - presença de opacos extremamente oxidados 	<ul style="list-style-type: none"> - microfissuras paralelas à telha, próximo às interfaces com a zona de corrosão (espessura submilimétrica e continuidade submilimétrica a milimétrica) - microporosidade na pasta - vazios irregulares (≈0,3mm)
Eternit Curitiba PR	Nova	<ul style="list-style-type: none"> - cor homogênea, marrom médio-escuro. - carbonatação ausente. - porções microporosas dispostas subparalelamente em camadas. - Abundância de Portlandita 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: fibras de sub-microscópicas (grãos de agregados de fibrilas e provável sefopita) a 0,63mm, outros agregados variam de 0,05 a 0,74mm, predominando de 0,11 a 0,22mm. - Fibras inalteradas. - O clínquer, provável belita, apresenta forte halo de hidratação, provavelmente composto por C-S-H amorfo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lenticulares: alongadas paralelamente à orientação das fibras. Até 3,6mm. - Microporosidade: na pasta, dispostas subparalelamente em camadas e no entorno dos vazios lenticulares.
IPT São Paulo SP	IPT	<ul style="list-style-type: none"> - carbonatação moderada e homogênea - presença de minerais de cimento (belita) com forte halo de hidratação. - abundância de "pontinhos marrons" (fases férricas oxidadas?) 	<ul style="list-style-type: none"> - granulometria: fibras de 0,1 a 0,78mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,04 mm a 0,27 mm. - fibras com forte impregnação de material da matriz e orientadas subparalelamente à superfície - opacos freqüentemente alterados para óxidos e hidróxidos de ferro 	<ul style="list-style-type: none"> - microporosidade na pasta nas zonas externas - vazios irregulares (≈0,32mm)

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das fases		
		Pasta	Agregado	Vazios
Refeitório Eternit Rio de Janeiro RJ	Ondulada refeitório Coberta	<ul style="list-style-type: none"> - Cor heterogênea, predominando marrom claro; zonas marrom escuras ocorrem de forma subordinada. Zonas claras são muito carbonatadas; zonas escuras apresentam carbonatação incipiente. - Zonas (lentes e manchas com diferentes tons) sub-paralelas à superfície da telha. - Abundância de fases férricas intersticiais aos grãos de belita e ao C-S-H (pontos marrons), dando um aspecto "pintadinho" à pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,1mm a 2mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,02 a 4,16mm - Fibras de crisotila onduladas e aciculares, fortemente impregnadas com pasta - Clínquer (belita) com moderado halo de hidratação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares: ≈0,18mm de diâmetro.
	Ondulada refeitório Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - Pasta com uma faixa central mais microporosa e bordas menos microporosas, porém com maior quantidade de vazios irregulares. - Cor homogênea, de marrom médio a marrom escuro. - Carbonatação incipiente, exceto próximo à superfície. 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,07mm a 1,47 mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,05 a 0,40mm - Abundância de alita e belita. Portlandita ocorre como cristaltos disseminados na faixa central. O gispsso identificado por difração de raios-X não foi observado em lâmina e, por não haver evidências de ataque por sulfato, estima-se que seja do cimento. - Alguns opacos encontram-se alterados para óxidos e hidróxidos de ferro 	<ul style="list-style-type: none"> - Interface pasta-clínquer: 0,02mm de espessura - Vazios irregulares, intergranulares: 0,05mm de espessura e comprimento submilimétrico.
	Cumeeira refeitório Coberta	<ul style="list-style-type: none"> - Cor heterogênea, variando de marrom clara a marrom escura, sem predominância entre ambas. - Carbonatação homogênea e fraca. - Zonas (lentes e manchas com diferentes tons) sub-paralelas à superfície da telha. - Manchas microporosas, concentradas próximo à base da telha - Abundância de fases férricas intersticiais aos grãos de belita e ao C-S-H, dando um aspecto "pintadinho" à pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,60mm a 1,24mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,01 a 0,6mm - Fibras de crisotila onduladas e aciculares, fortemente impregnadas com pasta - Clínquer (belita) com halo de hidratação bem desenvolvido 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares (comuns) – de 0,09 a 0,60mm. - Microporosidade na pasta – micrométrica.
	Cumeeira refeitório Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - Carbonatação homogênea e fraca - Zonas (lentes e manchas com diferentes tons) sub-paralelas à superfície da telha. - Deterioração pervasiva. - Abundância de fases férricas intersticiais aos grãos de belita e ao C-S-H, dando um aspecto "pintadinho" à pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,13mm a 3,7mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,02 a 0,32mm. - Fibras de crisotila onduladas e aciculares, fortemente impregnadas com pasta e associadas a opacos - Belita (e alita?) com halo de hidratação pouco desenvolvido 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares – de 0,08 a 0,27mm. Maior tamanho e freqüência próximo à superfície. - Microporosidade intensa.

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das fases		
		Pasta	Agregado	Vazios
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Crespum Coberta	<ul style="list-style-type: none"> - Cor homogênea, marrom clara. - Carbonatação intensa e homogênea, mascarando alguns grãos de filer calcário. - Abundância de fases férricas intersticiais aos grãos de belita e ao C-S-H, dando um aspecto "pintadinho" à pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,09mm a 2,72mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,03 a 0,37mm, predominando de 0,06 a 0,24mm - Fibras onduladas e aciculares. - Fibra, filer calcário e matriz com limites difusos devido à forte impregnação nos grãos e carbonatação da pasta - Belita isotropa, (totalmente hidratada), restando somente sua forma original. 	<ul style="list-style-type: none"> - Microporosidade intensa em faixas subparalelas à superfície. - Fissuras "fenestrais". Apresenta bordas rugosas, contornando os grãos, ondulada e sub-paralela à superfície. Espessura média: 0,07mm.
	Crespum Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - Cor heterogênea, variando de marrom médio a marrom claro. - Vazios homogêneos em toda a telha. - Carbonatação homogênea, intensa e perversiva, sem uma frente definida. 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de <0,05mm a 1,93mm de comprimento. Outros agregados variam de <0,04 a 0,74mm, - Ocasionais pseudomorfos isotropos de clínquer (C-S-H?) - Devido ao estágio avançado da carbonatação, o filer calcário não apresenta uma interface nítida com a pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Microporosidade na pasta – de micrométrica a submilimétrica - Fissuras irregulares – 0,14 a 4,14mm de comprimento e 0,02 a 0,23mm de largura - Interface pasta-agregado e interfibrilas - ≈0,05mm de espessura - Na região da superfície externa, por 0,14mm, há uma concentração de fissuras anastomosadas que condicionam uma "escamação" da telha. São fissuras fechadas, que localmente evoluem para fissuras abertas quando atingem a superfície. Tais fissuras são menos abundantes nas superfícies laterais e inferiores.
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Saúde - RJ Coberta	<ul style="list-style-type: none"> - Cor heterogênea, predominantemente marrom escuro. Marrom claro de forma muito subordinada. Zonas claras são muito carbonatadas; zonas escuras apresentam carbonatação incipiente. - Zonas (lentes e manchas com diferentes tons) sub-paralelas à superfície da telha. - Halo de carbonatação no entorno de regiões porosas (interfibras e bordas de cavidades) - Abundância de fases férricas intersticiais aos grãos de belita e ao C-S-H, dando um aspecto "pintadinho" à pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,12mm a 2,80mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,02 a 0,09mm - Fibras onduladas e aciculares, fortemente impregnadas com pasta - Clínquer (belita) com halo de hidratação muito pouco desenvolvido 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares, intergranulares, localmente concentrado em região fissurada – de 0,05 a 2,09mm - Microfissuras na pasta que partem de vazios irregulares (ocasionais) ≈0,01mm de espessura. Baixa continuidade (milimétrica a submilimétrica)

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das fases		
		Pasta	Agregado	Vazios
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Saúde - RJ Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - Carbonatação homogênea, ausente a incipiente (pasta semi-isótropa). Próxima à superfície a carbonatação é intensa. - Abundância de fases férricas intersticiais aos grãos de belita e ao C-S-H, dando um aspecto "pintadinho" à pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,10mm a 2,35mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,02 a 0,92mm - Fibras onduladas e aciculares, fortemente impregnadas com pasta - Clínquer (belita e alita) com halo de hidratação pouco desenvolvido. - Abundância de vidro na forma de um aglomerado lenticular. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares, mais abundantes próximo à superfície (comum) – de 0,11mm a 0,87mm - Microfissuras transgranulares, dendríticas a radiais (abundantes) – 0,01mm de espessura e continuidade milimétrica a centimétrica.
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar 1 Hangar 2 Hangar 3	<ul style="list-style-type: none"> - carbonatação fraca a forte, sendo forte na frente de alteração e em lentes subparalelas à superfície, e fraca a moderada nas outras regiões - predomina carbonatação moderada e heterogênea - Marrom média a escura nas zonas pouco carbonatadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,07mm a 1,61mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,02 a 0,36mm - Fibras de crisotila onduladas e aciculares, fortemente impregnadas com pasta - abundância de clínquer residual, mal hidratado - presença de opacos finos e euédricos - fibras da superfície localmente impregnadas com material biológico 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares: ≈0,8mm de diâmetro
	Hangar 4	<ul style="list-style-type: none"> - carbonatação moderada a forte, sendo forte na frente de alteração e em lentes subparalelas à superfície, e moderada nas outras regiões - predomina carbonatação moderada e heterogênea - Marrom média, escura nas zonas menos carbonatadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,03mm a 1,2mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,04 a 0,50mm - Fibras de crisotila onduladas e aciculares, fortemente impregnadas com pasta - abundância de clínquer residual, mal hidratado 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares: de 0,09 a 1,40mm - Microporosidade na pasta, mais intensa em zonas carbonatadas
	Hangar 5	<ul style="list-style-type: none"> - carbonatação em faixas, intensa próxima à superfície interna e fraca próximo à externa - predomina carbonatação moderada e heterogênea - presença de portlandita na pasta, com cristais de 0,15mm de tamanho na zona sã. Esta é provavelmente secundária 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,04mm a 1,24mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,02 a 0,51mm - Fibras de crisotila onduladas e aciculares, fortemente impregnadas com pasta - abundância de clínquer residual, mal hidratado 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares: de ≈0,09 - Microporosidade na pasta, mais intensa em zonas carbonatadas
	Hangar 6 Hangar 7	<ul style="list-style-type: none"> - carbonatação moderada a forte, sendo forte na frente de alteração e moderada nas outras regiões - predomina carbonatação moderada e heterogênea - presença de portlandita na pasta 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,03mm a 1,2mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,02 a 0,7mm - abundância de clínquer residual, mal hidratado 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares próximo à superfície interna: de 0,05 a 2,25mm - Microporosidade na pasta, mais intensa em zonas carbonatadas

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das fases		
		Pasta	Agregado	Vazios
Fábrica Phebo Belém PA	Pavilhão Phebo Coberta e Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - carbonatação homogênea e fraca - região carbonatada: mais clara e próxima às superfícies - presença de portlandita na pasta com textura de corrosão por carbonato 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,03mm a 1,75mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,07 a 0,81mm - "fantasmas" de clínquer totalmente hidratados - filer calcário com limites do grão difusos. Alguns grãos apresentam halo de material de birrefringência baixa, fibroso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Microporosidade próximo à superfície - microfissuras paralelas e próximas à superfície (espessura milimétrica) - vazios irregulares próxima à superfície externa: até 1,12mm de comprimento
	Embalagens Phebo	<ul style="list-style-type: none"> - cor marrom média a clara - carbonatação intensa e homogênea 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,04mm a 1,29mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,03 a 0,23mm - raros clínquers residuais 	<ul style="list-style-type: none"> - Microporosidade próximo à superfície externa - Vazios irregulares: até 0,86mm de comprimento - fissuras largas, paralelas à superfície da telha: até 1,53mm de comprimento e 0,11mm de espessura
	Embalagens Phebo Coberta e Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - carbonatação muito heterogênea, na forma de finas faixas carbonatadas descontínuas paralelas à telha - carbonatação predominantemente moderada e intensa nas faixas 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,05mm a 1,55mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,02 a 0,09mm - presença de clínquer residual 	<ul style="list-style-type: none"> - vazios irregulares (abundantes): de 0,09 a 0,69mm - microporosidade (abundante nas porções externas) - interface pasta e agregado opaco
UFPA Belém PA	Passarela PB UFPA Coberta e Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - faixas com carbonatação moderada a intensa em meio a telha pouco ou não carbonatada, porém lixiviada de portlandita. - carbonatação heterogênea e moderada a fraca - pasta marrom escura 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,06mm a 2,25mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,03 a 0,46mm - abundância de clínquer não hidratado 	<ul style="list-style-type: none"> - vazios irregulares (comuns nas regiões não carbonatadas): de 0,02 a 0,05mm - vazio na interface entre pasta e celulose: 8,51mm de comprimento e 0,20mm de espessura - Fissuras paralelas à superfície da telha: de 0,18 a 1,1mm - microporosidade na pasta
	PB - P1 – UFPA	<ul style="list-style-type: none"> - Cor e porosidade muito heterogênea - Carbonatação moderada, muito heterogênea, mais intensa nas porções externas 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,04mm a 0,87mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,04 a 0,69mm - presença freqüente de clínquer 	<ul style="list-style-type: none"> - Microfissuras em uma região próxima à superfície: espessura milimétrica e continuidade milimétrica a submilimétrica - Microporosidade na pasta, em lentes carbonatadas - Vazios irregulares: de 0,04 a 0,25mm - fissuras com paredes irregulares, próximas à superfície (localizada): espessura de 0,11mm e comprimento de 1,97mm
	QB – UFPA Coberta, Descoberta e Quebrada	<ul style="list-style-type: none"> - cor marrom clara a média. Regiões claras associadas a zonas carbonatadas - carbonatação heterogênea, intensa nas regiões externas e moderadas a fraca nas internas 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,03mm a 0,46mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,05 a 1,52mm - baixa quantidade de clínquer - abundância de agregados de serpofita 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares: ≈0,45mm - Microporosidade na pasta - Interface entre pasta e fibra

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das fases		
		Pasta	Agregado	Vazios
LUSO Tour Belém PA	LUSO Tour Coberta e Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - cor marrom claro a escuro, predominando escuro - carbonatação homogênea e moderada a intensa 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,05mm a 1,9mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,09 a 1,1mm - clínquer residual 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares, alinhados. Formam uma "camada" paralela à superfície. ≈0,18mm - Microporosidade em regiões carbonatadas
DF impermeabilizantes Belém PA	Galpão – DF	<ul style="list-style-type: none"> - cor da pasta heterogênea, variando de clara a escura. - carbonatação intensa nas bordas e incipiente no centro da telha, predominantemente moderada 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,05mm a 2,12mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,04 a 0,55mm - Abundância de clínquer residual 	<ul style="list-style-type: none"> - raras fissuras paralelas à superfície, na região de interface entre a porção não carbonatada e a carbonatada - Vazios irregulares, alinhados paralelamente à superfície, como camadas descontínuas: 0,69mm de espessura - Localmente, na interface da região carbonatada e não carbonatada destacam-se prováveis vazios capilares, que separam "ilhas" de C-S-H.
Banco do Brasil Belém PA	Mercadoria - BB	<ul style="list-style-type: none"> - cor de marrom médio a marrom claro - carbonatação homogênea, moderada a intensa, predominantemente intensa 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,05mm a 1,7mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,05 a 0,16mm - raros grãos de clínquer 	<ul style="list-style-type: none"> - fissuras largas, alargadas por dissolução (abundante): 0,07 a 5,43mm de comprimento e 0,07 a 0,35mm de largura - vazios irregulares (abundantes): 0,41mm
	Depósito - BB	<ul style="list-style-type: none"> - cor bege a marrom escura - carbonatação homogênea a fraca 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,05mm a 1,6mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,04 a 0,46mm - abundância de clínquer - abundância de C-A-H's 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares: 0,41mm - fissuras largas, localmente na interface pasta-fibra, paralelas à telha: 0,3 a 3,8mm de comprimento e 0,09mm de largura
Rodoviária Curitiba PR	Rodoviária Ctba Coberta e Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - pasta marrom média, com faixas claras - carbonatação heterogênea e moderada 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,06mm a 3,68mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,04 a 1,52mm - presença de clínquer 	<ul style="list-style-type: none"> - Fissuras paralelas à superfície: espessura submilimétrica e comprimento milimétrico a centimétrico - vazios irregulares que evoluem para fissuras e poros submilimétricos: formam trama extensa, milimétrica a centimétrica, que contornam grãos de clínquer e fibras, evidenciando dissolução da pasta - interface fibra-cimento - bolha de ar aprisionado preenchida por carbonato grosso - porosidade na pasta: submilimétrica
Secretaria de Saúde Curitiba PR	Saúde Ctba	<ul style="list-style-type: none"> - cor marrom clara a médio - carbonatação heterogênea e moderada, com faixas fracas 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,11mm a 1,75mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,07 a 0,31mm - abundância de clínquer pouco hidratado 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazios irregulares: submilimétricos - fissuras próximo à superfície: comprimento milimétrico e espessura submilimétrica - microporosidade mais desenvolvida em regiões mais carbonatadas

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das fases		
		Pasta	Agregado	Vazios
Shopping Muller Curitiba PR	Muller Coberta e Descoberta	<ul style="list-style-type: none"> - cor heterogênea - carbonatação homogênea e fraca 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria: feixe de fibras de 0,09mm a 4,37mm de comprimento. Outros agregados variam de 0,03 a 0,25mm - clínquer mais abundante nas zonas pouco carbonatadas - abundância de clínquer pouco hidratado 	<ul style="list-style-type: none"> - microporosidade na pasta, em regiões mais carbonatadas - microfissuras nas porções externas (raras): comprimento submilimétrico e espessura milimétrica <p>De uma forma geral, destaca-se caráter muito compacto da telha</p>

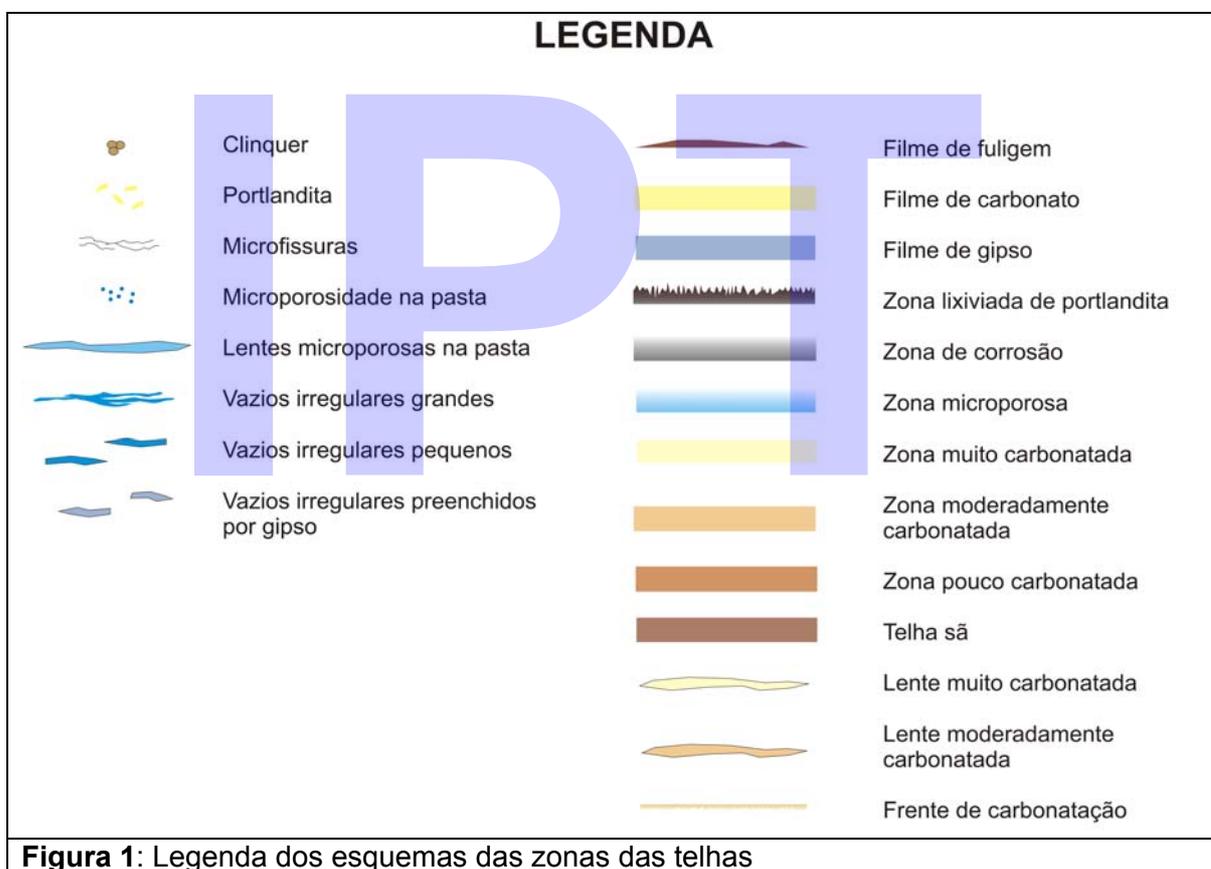
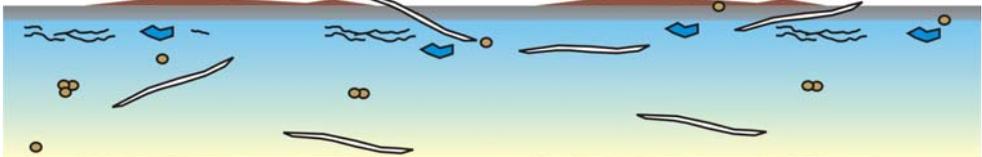
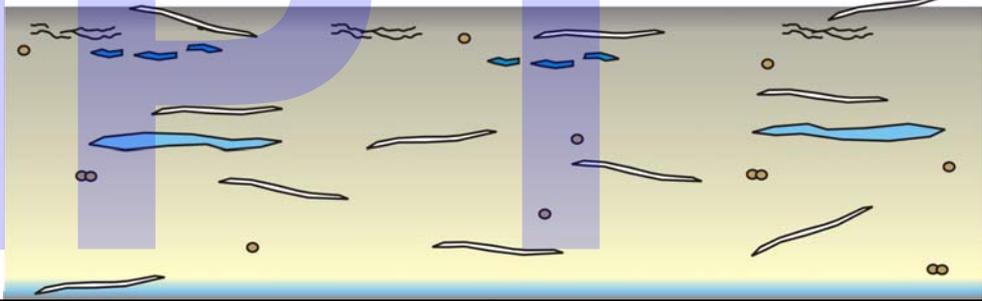
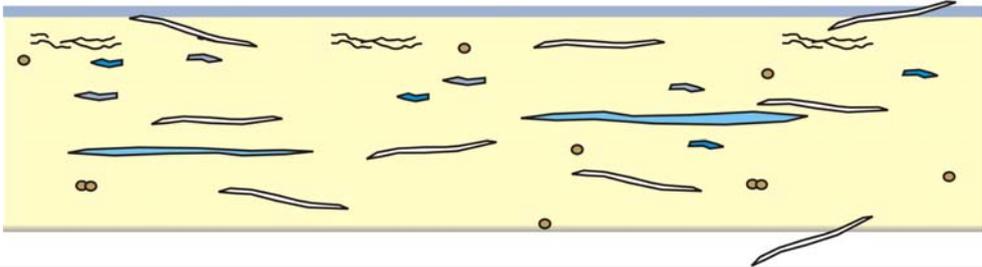


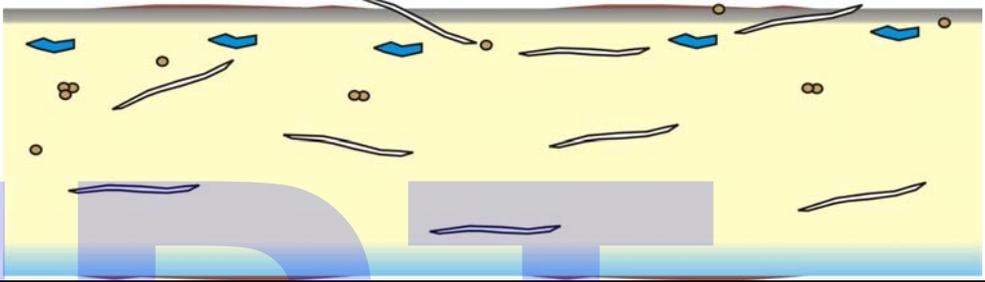
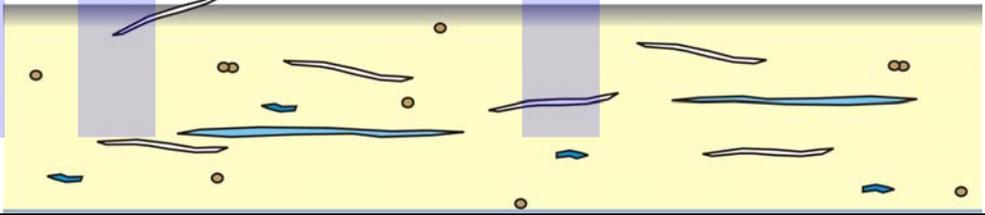
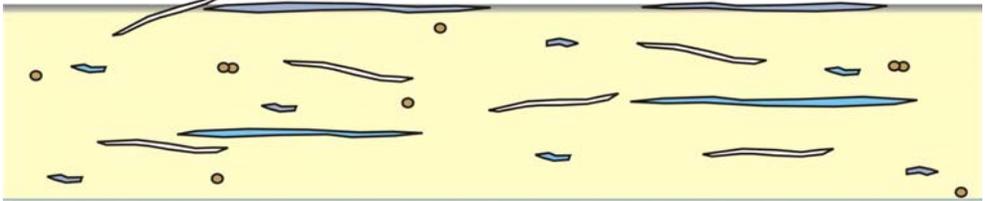
Figura 1: Legenda dos esquemas das zonas das telhas

Tabela 3: Descrição das Zonas das telhas.

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
	AM-1.1 Proact	<p>Zona 1: Filme de material opaco e granular. 0,23 mm de espessura. Zona 2: Zona de corrosão. 0,54 mm de espessura. Caracteriza-se pela quase total ausência de matriz, restando somente agregado, fuligem e minerais de cimento. Zona 3: Zona de carbonatação microporosa. 4,72 mm de espessura. Apresenta maior microporosidade em região próxima ao topo da telha. Zona 4: Filme de sujeira. 0,05 mm de espessura. Caracteriza-se por um material opaco e granular. ESPESSURA TOTAL: 5,54mm</p> 
Flanaço Osasco SP	Am-1.2 Proact	<p>Zona 1: Zona de corrosão. 0,25mm de espessura. Zona 2: Zona moderadamente carbonatada. 9,20mm de espessura. Presença de lentes microporosas e vazios irregulares. Zona 3: Zona de carbonatação microporosa. 0,37mm de espessura. Zona 4: Zona de corrosão. 0,18mm de espessura. ESPESSURA TOTAL: 10mm</p> 
	Am-2 Gás	<p>Zona 1: Filme de gipso + opacos. 0,18mm de espessura Zona 2: Zona de carbonatação com vazios irregulares. 7,13mm de espessura. Zona 3: Zona de corrosão. 0,23mm de espessura. ESPESSURA TOTAL: 7,54mm</p> 

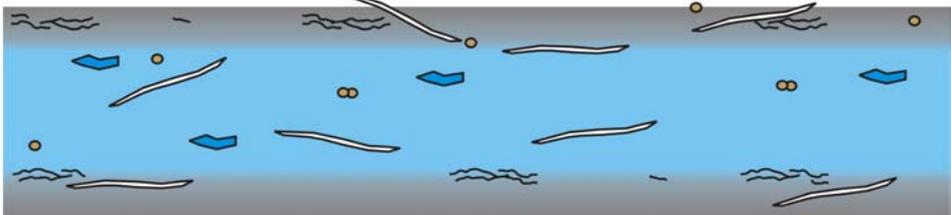
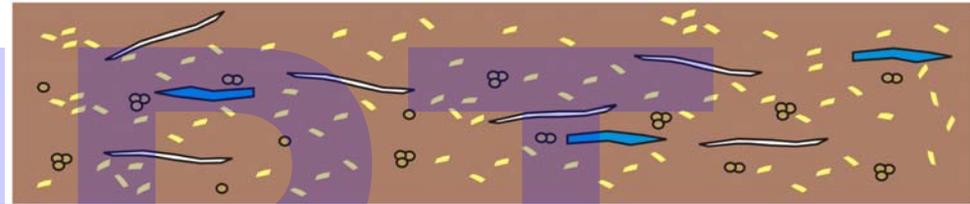
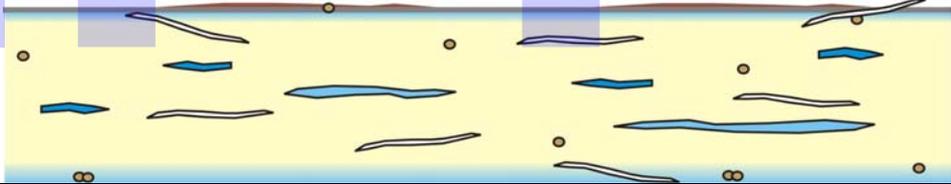
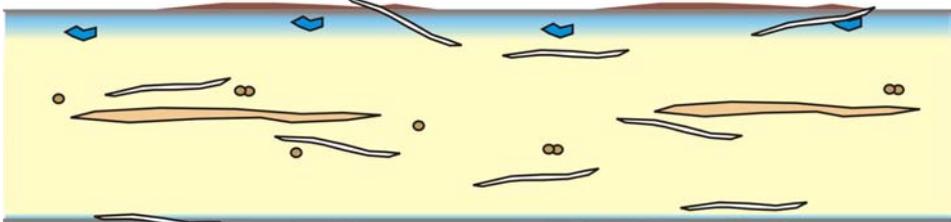
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
	Am-3 Aciaria	<p>Zona 1: Filme descontínuo de sujeira.</p> <p>Zona 2: Zona de corrosão. 0,37mm de espessura. Pobre em pasta, restando somente os agregados e clínquer.</p> <p>Zona 3: Zona carbonatada com vazios irregulares. 1,06mm de espessura.</p> <p>Zona 4: Filme de carbonatação. 6,44mm de espessura. Presença de lentes microporosas e vazios irregulares subordinados.</p> <p>Zona 5: Zona de carbonatação microporosa. 1,15mm de espessura.</p> <p>Zona 6: Filme descontínuo de sujeira.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 9,02mm</p> 
Flanaço Osasco SP	Am.4 Forjaria	<p>Zona 1: Zona de corrosão. 0,69mm de espessura. Impregnada com óxidos e hidróxidos de ferro.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação. 6,99mm de espessura.</p> <p>Zona 3: Camada de sujeira com gipso. 0,18mm de espessura.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,86mm</p> 
	Am-5.1 Eixos	<p>Zona 1: Zona de corrosão impregnada com sujeira e gipso. 0,32mm de espessura. Camada de gipso + clínquer + sujeira + carbonato fino, do cimento.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação intensa. 6,44mm de espessura. Presença de vazios irregulares por ora preenchidos totalmente a parcialmente por gipso. Os vazios preenchidos estão principalmente nas regiões mais externas.</p> <p>Zona 3: Fina camada de gipso. 0,07mm de espessura.</p> <p>Zona 4: Camada de carbonato. 0,18mm de espessura. Composta por carbonato micrítico e grãos de carbonato grosso (fíler calcário?).</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,01mm</p> 

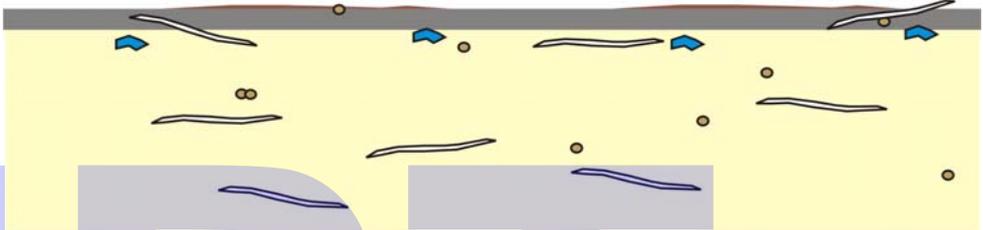
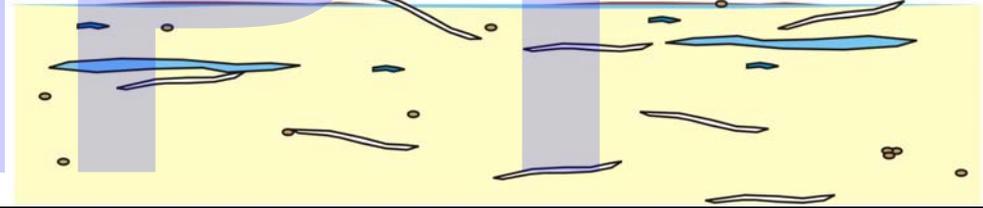
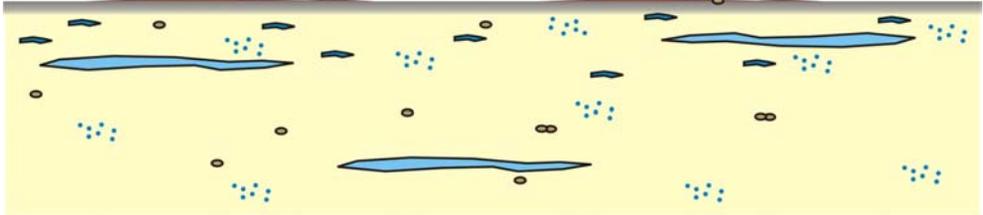
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
Flanaço Osasco SP	Am-5.2 Eixos	<p>Zona 1: Zona de corrosão. 1,38mm de espessura. Zona 2: Zona de carbonatação microporosa. 4,46mm de espessura. Zona 3: Zona de corrosão. 1,43mm de espessura. ESPESSURA TOTAL: 7,27mm</p> 
Eternit Curitiba PR	Nova	<p>Homogênea ESPESSURA TOTAL: 7,04mm</p> 
IPT São Paulo SP	IPT	<p>Zona 1: Filme de material biológico. Zona 2: Zona de corrosão. 0,18 mm de espessura. Impregnado com material biológico. Zona 3: Zona de carbonatação microporosa. 0,27mm de espessura. Zona 4: Zona de carbonatação. 5,06mm de espessura. Presença ocasional de vazios irregulares. Zona 5: Zona de carbonatação microporosa. 0,69mm de espessura. ESPESSURA TOTAL: 6,20mm</p> 
Refeitório Eternit Rio de Janeiro RJ	Ondulada refeitório Coberta	<p>Zona 1: Filme descontínuo de fuligem Zona 2: Zona de corrosão. 0,27mm de espessura. Pobre em pasta, restando ocasionais agregados e material claro, semi-isótropo (sílica gelatinizada). Zona 3: Zona de carbonatação. 0,85mm de espessura. Fortemente carbonatada e microporosidade mais desenvolvida. Zona 4: Zonas de carbonatação com faixas moderadamente carbonatadas. 5,85mm de espessura. Zona 5: Zona de carbonatação. 0,17mm de espessura Fortemente carbonatada e microporosidade mais desenvolvida. Zona 6: Zona de corrosão. 0,22mm de espessura. Pobre em pasta, restando ocasionais agregados e material claro, semi-isótropo (sílica gelatinizada). Zona 7: Filme descontínuo de fuligem. Entre as zonas 3 a 4 na passagem há uma interface bem definida; já a zona 2 transiciona para a 3 rapidamente porém de forma gradual. ESPESSURA TOTAL: 7,36mm</p> 

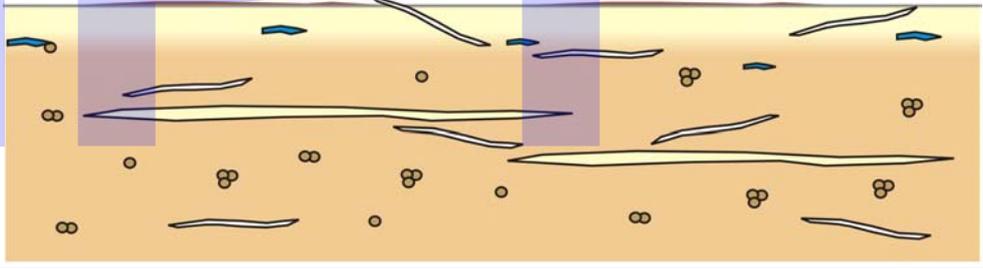
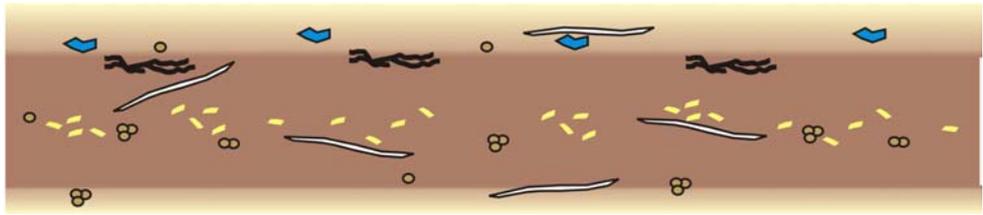
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
	Ondulada refeitório Descoberta	<p>Zona 1: Filme descontínuo de fuligem. 0,12mm de espessura.</p> <p>Zona 2: Zona de corrosão. 0,37mm de espessura. Pobre em pasta, restando agregados e material claro, semi-isótopo (sílica gelatinizada).</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação. 0,05mm de espessura Fortemente carbonatada com vazios irregulares.</p> <p>Zona 4: Zona carbonatada. 7,13mm de espessura. Ausência de portlandita, vazios irregulares e microporosidade. Cristais de carbonato muito fino, dando um aspecto esfumado à pasta. Entre as zonas 3 a 4 na passagem há uma interface bem definida; já a zona 2 transiciona para a 3 rapidamente porém de forma gradual.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,67mm</p> 
Refeitório Eternit Rio de Janeiro RJ	Cumeeira refeitório Coberta	<p>Zona 1: Filme descontínuo de fuligem. 0,04mm de espessura</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação microporosa. 0,06mm de espessura.</p> <p>Zona 3: Zona carbonatada, com pequenas regiões microporosas. 6,80mm de espessura.</p> <p>A passagem entre as zonas 2 e 3 ocorre de forma gradual</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 6,90mm</p> 
	Cumeeira refeitório Descoberta	<p>Zona 1: Filme descontínuo de fuligem. 0,036mm de espessura</p> <p>Zona 2: Zona de corrosão. 0,27mm de espessura. Pobre em pasta, restando somente os agregados.</p> <p>Zona 3: Zona carbonatada. 7,05mm de espessura. Abundância de regiões microporosas.</p> <p>A passagem entre as zonas 2 e 3 ocorre de forma gradual</p> <p>Obs: a deterioração da telha (evidenciada pela porosidade alta) é pervasiva, não se restringindo à superfície.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,36mm</p> 
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Crespum Coberta	<p>Telha muito deteriorada de forma pervasiva e homogênea. Carbonatação intensa e porosidade muito alta. Nota-se que a superfície, principalmente da base, é bastante endentada.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 5,00mm</p> 

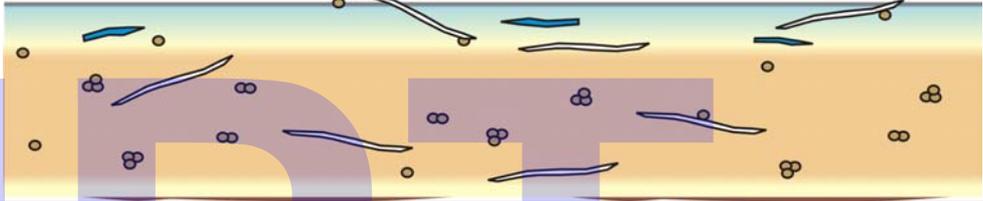
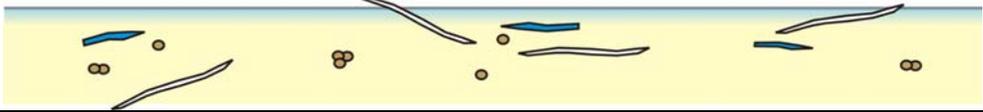
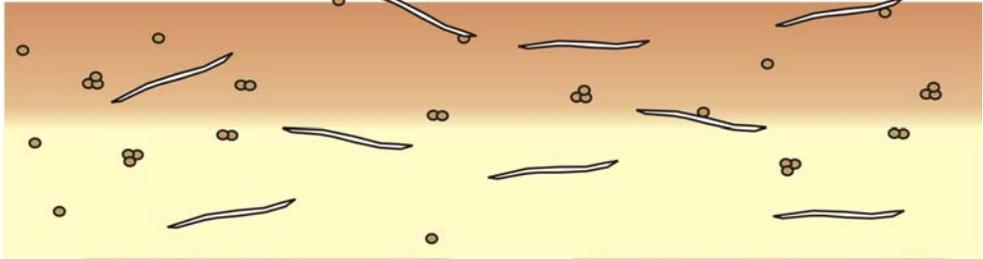
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Crespum Descoberta	<p>Zona 1: Filme descontínuo de fuligem (e musgo?) Zona 2: Zona de corrosão. 0,18mm de espessura. Pasta ausente, restando somente os agregados e material claro, semi-isótropo (sílica gelatinizada). Zona 3: Zona de carbonatação intensa, com faixas alternadas de carbonatação moderada. 4,40mm de espessura. A passagem entre as zonas 2 e 3 ocorre de forma gradual ESPESSURA TOTAL: 4,58mm</p> 
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Saúde - RJ Coberta	<p>Zona 1: Filme descontínuo de fuligem. 0,02mm de espessura Zona 2: Zona de corrosão. 0,07mm de espessura. Ausência de pasta, restando somente os agregados. Zona 3: Zona de carbonatação intensa. 0,54mm de espessura. Zona 4: Zona de carbonatação moderada. 8,2mm de espessura. Faixas subordinadas moderadamente carbonatadas. Pasta lixiviada de portlandita. Entre as zonas 3 a 4 a passagem há uma interface bem definida; a zona 2 transiciona para a 3 rapidamente porém de forma gradual. Obs: Telha aparentemente jovem, preservando o clínquer da hidratação, C-S-H gel em alto teor e pouca carbonatação. ESPESSURA TOTAL: 8,83mm</p> 
	Saúde - RJ Descoberta	<p>Zona 1: Zona de carbonatação. 1,84mm de espessura. Regiões moderadamente carbonatadas. Pasta lixiviada de portlandita. Zona 2: Pasta não carbonatada. 2,76mm de espessura. Pasta preta, com portlandita. Zona 3: Sem alterações. A zona 2 transiciona para a 3 e para 1 rapidamente, porém de forma gradual. ESPESSURA TOTAL: 5,52mm</p> 

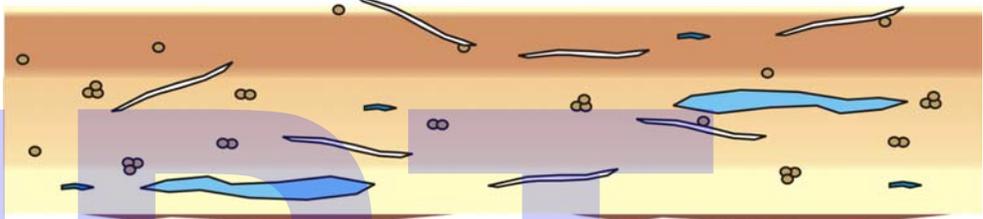
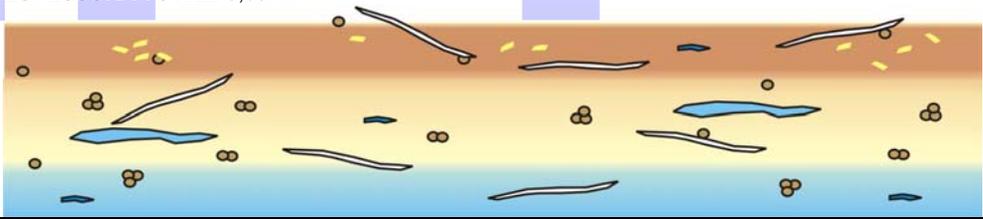
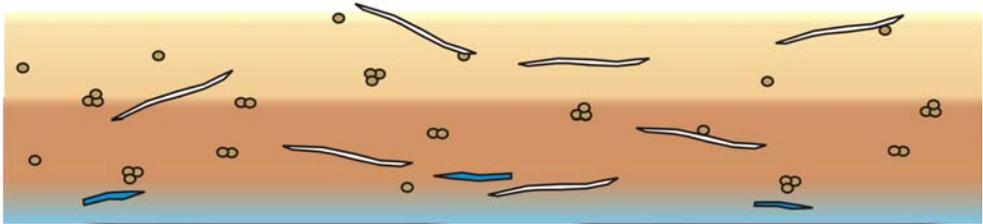
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar 1	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de corrosão. 0,14mm de espessura. Ausência de pasta. Presença de materiais "inertes" à corrosão (clínquer, fibras, material biológico, material ferruginoso (?))</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação microporosa. 0,15mm de espessura.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação intensa, porém com faixas subordinadas moderadamente carbonatadas. 1,15mm de espessura.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação moderada, com lentes de carbonatação intensa. 5,52mm de espessura.</p> <p>Zona 5: (superfície interna). Frente de carbonatação. 0,41mm de espessura.</p> <p>Zona 6: Filme de opacos avermelhados (óxidos e hidróxidos de ferro?)</p> <p>Entre as zonas 1 e 2 e 4 a 6 a passagem é brusca e endentada; já entre as zonas 2 a 4 a passagem é gradual.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,37mm</p> 
	Hangar 2	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de corrosão. 0,08mm de espessura. Ausência de pasta. Presença de materiais "inertes" à corrosão (clínquer e fibras). Presença de fibras se desprendendo da telha.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação. Varia entre 0,15mm e 0,83mm de espessura. Faixas fortemente carbonatada e microporosa alternadas com faixas moderadamente carbonatadas.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação intensa, porém com faixas subordinadas moderadamente carbonatadas. 2,7mm de espessura. Abundância de vazios irregulares com ≈0,3mm de espessura e 4,6mm de comprimento.</p> <p>Entre as zonas 1 e 2 a passagem é brusca e plana; já entre as zonas 2 e 3 a passagem é gradual.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 3,28mm</p> 
	Hangar 3	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de carbonatação descontínua. ≈0,23mm de espessura.</p> <p>Zona 2: Zona pouco carbonatada. 4,37mm de espessura. Pasta predominantemente pouco carbonatada, com pequenas lentes carbonatadas. Porosidade muito baixa.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação. 3,7mm de espessura. Alternância de faixas com carbonatação intensa e fraca. Maior frequência de vazios irregulares.</p> <p>Zona 4: filme descontínuo de opacos.</p> <p>Entre as zonas 1 a 3 o contato é brusco e irregular; já entre as zonas 2 e 3 a passagem é transicional.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 8,30mm</p> 

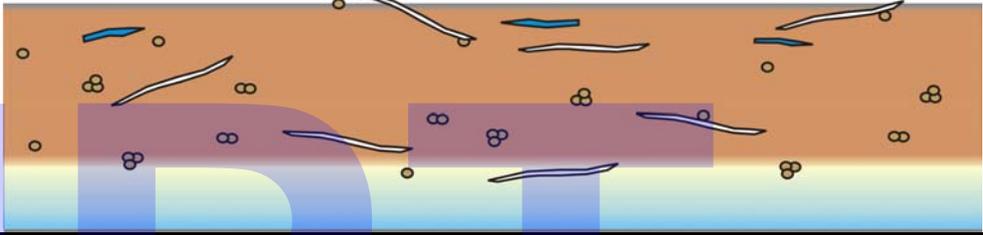
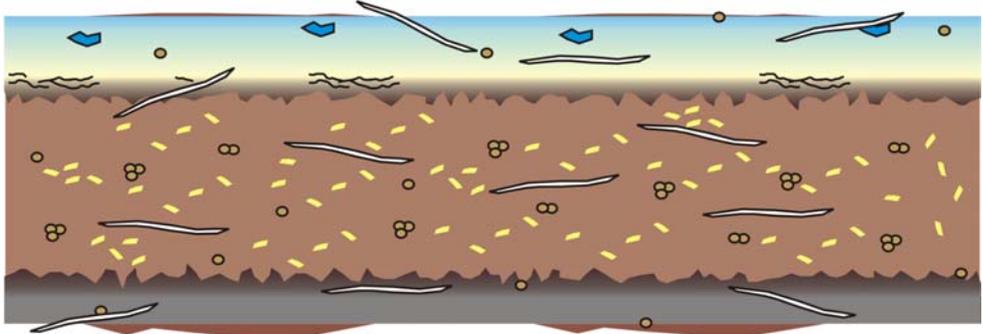
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
	Hangar 4	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de carbonatação. 0,14mm de espessura. Topo plano.</p> <p>Zona 2: Zona pouco carbonatada. 2,3mm de espessura. Carbonatação fraca, com lentes carbonatadas e microporosas. Pasta marrom escura.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação moderada. 3,22mm de espessura. Alternância de faixas carbonatadas e microporosas, de matriz marrom média, com faixas pouco carbonatadas. Presença de ocasionais vazios irregulares</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação porosa. 1,4mm de espessura. Extremamente microporosa e com abundância de vazios irregulares.</p> <p>Zona 5: Filme de opacos. 0,29mm de espessura. Presença de constituintes “inertes “ da telha (clínquer e fibras) e localmente grão de feldspato.</p> <p>Entre as zonas 1 a 4 o contato é gradual; já entre a zona 4 e 5 a passagem é brusca.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,35mm</p> 
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar 5	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de carbonatação. 0,09 de espessura.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação moderada. 0,85mm de espessura. Alternância de regiões não carbonatadas e carbonatadas, predominantemente moderada. Na região não carbonatada observam-se cristais maiores de portlandita. Pasta escura.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação não porosa. 2,73mm de espessura.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação porosa. 1,98mm de espessura. Abundância de vazios irregulares (~20%) isolando fibras e clínquer residual.</p> <p>Entre as zonas 3 e 4 o contato é transicional; já entre as zonas 1 a 3 a passagem é brusca e regular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 5,65mm</p> 
	Hangar 6	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de carbonatação. 0,14mm de espessura.</p> <p>Zona 2: Zona moderadamente carbonatada. 2,81mm de espessura. Lentes intensamente carbonatadas.</p> <p>Zona 3: Zona pouco carbonatada. 2,76mm de espessura. Alternância de faixas e lentes carbonatadas e microporosas com regiões de matriz marrom média, pouco carbonatada.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação porosa. 1,52mm de espessura.</p> <p>Zona 5: filme de opacos. 0,14mm de espessura. Cor avermelhada a preta, com materiais fibrosos associados (musgo?).</p> <p>Entre as zonas 1 e 2, e 4 e 5 o contato é brusco e irregular; já entre as zonas 3 e 4 a passagem é transicional.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,37mm</p> 

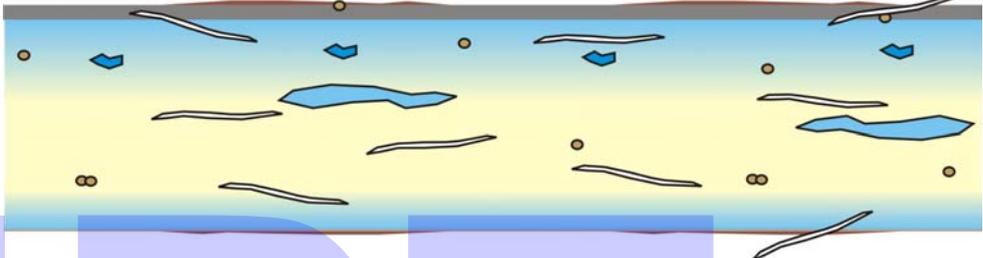
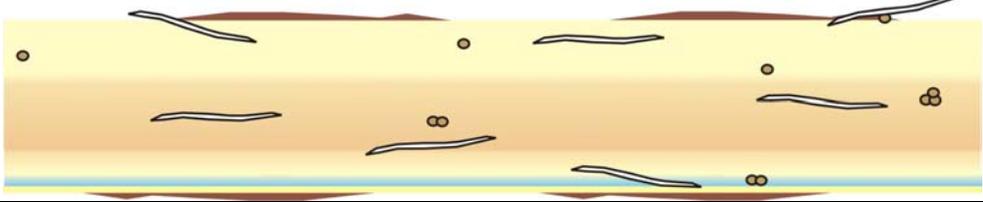
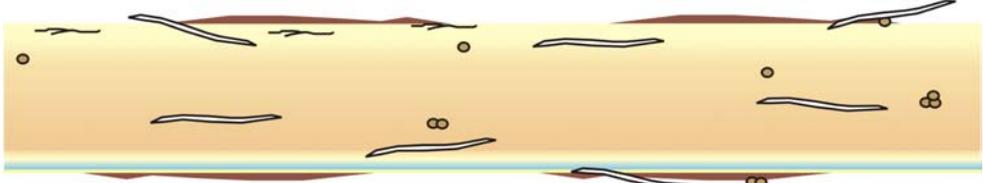
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar 7	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de corrosão. 0,07mm de espessura. "Fantasma da telha", composta por clínquer, esferas micrométricas de óxidos e hidróxidos de ferro, material isotrópico e líquen ou musgo.</p> <p>Zona 2: Zona pouco carbonatada. 5,52mm de espessura. Faixas alternadas moderadamente e fortemente carbonatadas. Pasta marrom média a clara.</p> <p>Zona 3: Zona carbonatada e porosa. 2,12mm de espessura. Abundância de microporosidade e vazios irregulares. Presença de faixas irregulares pouco carbonatadas.</p> <p>Zona 4: Zona de corrosão. 0,04mm de espessura. "Fantasma da telha", composta por clínquer, esferas micrométricas de óxidos e hidróxidos de ferro e material isotrópico.</p> <p>Entre as zonas 1 e 2 o contato é brusco e regular; já entre as zonas 2 e 3 a passagem é transicional, e entre a 3 e 4 é regular e gradual.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,75mm</p> 
Fábrica Phebo Belém PA	Pavilhão Phebo Coberta e Descoberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Flocos de sujeira. 0,1mm de espessura. Composto por material ferruginoso, material biológico e material desagregado da telha.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação microporosa. 1,49mm de espessura. Abundância de vazios irregulares.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação. 0,59mm de espessura. Presença de microfissuras paralelas à zona, contínuas e anastomosadas (contração por carbonatação?). Presença de impregnação por material marrom (ferro?) em direção à base.</p> <p>Zona 4: Zona de lixiviação. 0,81mm de espessura. Zona moderadamente carbonatada, pobre em portlandita e C-S-H.</p> <p>Zona 5: Zona sã. 5,94mm de espessura. Ver descrição de pasta, agregados e vazios da telha. Destaca-se abundância de C-S-H, portlandita e fases intersticiais hidratadas. Clínquer parcialmente a totalmente hidratado.</p> <p>Zona 6: Zona de lixiviação. 0,36mm de espessura.</p> <p>Zona 7: Zona de corrosão. 0,9mm de espessura. Ausência de pasta.</p> <p>Zona 8: Camada de sujeira. 0,54mm de espessura. Associado à sujeira encontram-se fibras e fíler carbonático destituída de matriz.</p> <p>Entre as zonas 1 e 2 e 7 a 9 a passagem é brusca e plana; já entre as zonas 2 a 6 a passagem é gradual e irregular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 10,73mm</p> 

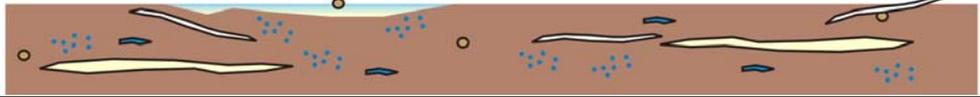
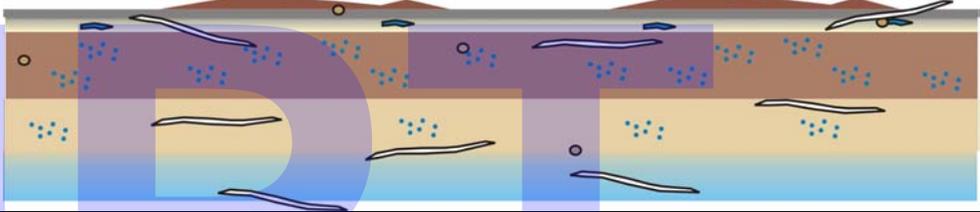
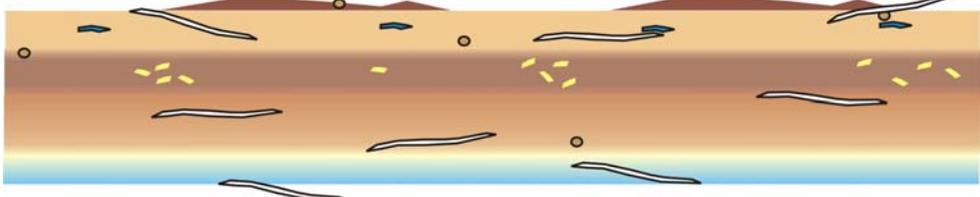
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
	Embalagens - Phebo	<p>Zona 1 (superfície externa): Filme de sujeira. 0,13mm de espessura. Material preto amarronzado a marrom, com formato de pequenas esferas.</p> <p>Zona 2: Zona de corrosão. 0,05mm de espessura. Forte impregnação de sujeira (material da Zona 1).</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação microporosa. 1,1mm de espessura.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação. 4,8mm de espessura. Presença de manchas microporosas.</p> <p>Zona 5: Zona de carbonatação microporosa. 1,3mm de espessura.</p> <p>Zona 6: Zona de carbonatação impregnada com material ferruginoso. 0,09mm de espessura.</p> <p>Zona 7: Filme de sujeira marrom escuro. 0,77mm de espessura. Material é filamentososo (Material biológico? líquen ou musgo?)</p> <p>Entre as zonas 5 a 7 a passagem é brusca e plana; já entre as zonas 1 a 5 a passagem é gradual e irregular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 8,24mm</p> 
Fábrica Phebo Belém PA	Embalagens – Phebo Coberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Filme de sujeira. 0,27mm de espessura. Material marrom e fibras, ausência de pasta.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação. 1,84mm de espessura. Presença de lentes subordinadas pouco menos carbonatadas.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação moderada. 2,55mm de espessura.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação. 0,92mm de espessura. Presença de lentes subordinadas pouco menos carbonatadas.</p> <p>Zona 5: Zona de carbonatação microporosa. 0,37mm de espessura. Abundância de clínquer</p> <p>Zona 6: Zona de carbonato. 0,23mm de espessura. Ausência de clínquer e fibras.</p> <p>Zona 7: Filme de sujeira marrom escuro. 0,26mm de espessura. Material é filamentososo (Material biológico? líquen ou musgo?)</p> <p>Entre as zonas 1 e 2 e 6 e 7, a passagem é brusca e plana; já entre as zonas 2 a 6 a passagem é gradual e irregular.</p> <p>OBS: Weddelita (DRX) está presente em plantas, segundo Troger.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 6,44mm</p> 
	Embalagens – Phebo Descoberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Filme de sujeira. 0,31mm de espessura.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação. 0,49mm de espessura. Presença de fissuras paralelas à telha preenchidas com “sujeira”.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação moderada. 3,68mm de espessura. Alternância de bandas muito carbonatadas e moderadamente carbonatadas.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação. 0,36mm de espessura. Impregnação por material ferruginoso. Presença de vazios na interface de agregado opaco e pasta.</p> <p>Zona 5: Zona de carbonatação microporosa. 0,37mm de espessura. Abundância de clínquer</p> <p>Zona 6: Zona de carbonato. 0,23mm de espessura. Ausência de clínquer e fibras.</p> <p>Zona 7: Filme de sujeira marrom escuro. 0,26mm de espessura. Material é filamentososo (Material biológico? líquen ou musgo?)</p> <p>Entre as zonas 1 e 2, a passagem é brusca e plana; já entre as zonas 2 a 4, a passagem é gradual e irregular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 5,70mm</p> 

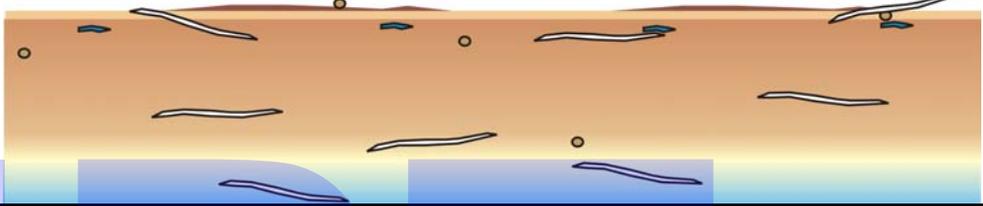
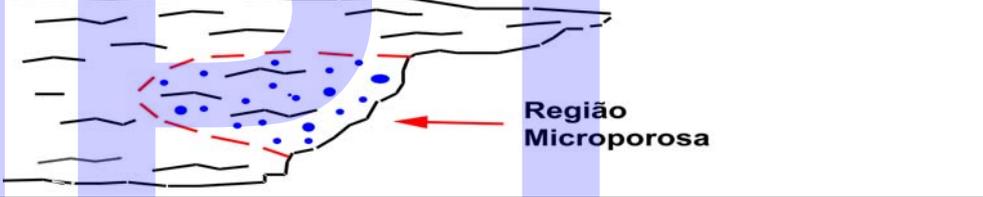
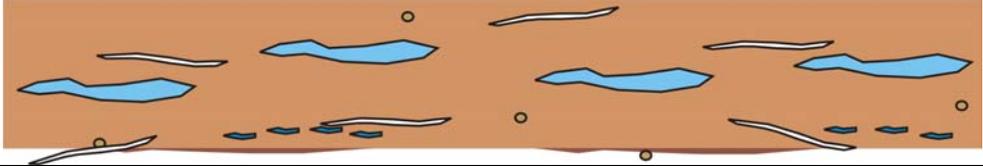
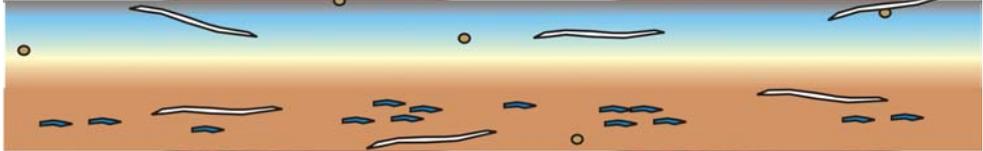
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
	Passarela PB UFPA Coberta	<p>Não há diferenças entre a superfície e o interior da telha. Espessura total: 6,76mm. Localmente há uma região com ≈0,5mm de espessura, na superfície externa, carbonatada e microporosa.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 6,76mm</p> 
	Passarela PB UFPA Descoberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de corrosão. 0,27mm de espessura. "Fantasma" da telha, restando somente sílica gelatinizada, fibras e clínquer, não havendo ligante hidráulico. Impregnação por material biológico e/ou fuligem.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação. 0,49mm de espessura. Presença de vazios irregulares.</p> <p>Zona 3: Zona não carbonatada. 2,30mm de espessura. Presença de portlandita e microporos.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação escura. 1,75mm de espessura. Pouco porosa.</p> <p>Zona 5: Zona de carbonatação microporosa. 1,7mm de espessura.</p> <p>Entre as zonas 1 e 2, a passagem é brusca e plana; já entre as zonas 2 a 4, a passagem é gradual e irregular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 6,51mm</p> 
UFPA Belém PA	PB - P1 - UFPA	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de corrosão. 0,07mm de espessura. "Fantasma" da telha, restando somente sílica gelatinizada, fibras e clínquer, não havendo ligante hidráulico.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação. 1,08mm de espessura. Pasta marrom média a escura, carbonatação moderada</p> <p>Zona 3: Zona lixiviada de portlandita. 0,83mm de espessura. Presença de material isotrópico (provável C-S-H).</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação. 1,8mm de espessura. Pasta marrom média a escura, carbonatação moderada.</p> <p>Zona 5: Zona de carbonatação microporosa. 0,92mm de espessura. Cor marrom clara. Localmente porosa.</p> <p>Entre as zonas 1 e 2, a passagem é brusca e plana; já entre as zonas 2 a 5, a passagem é gradual e irregular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 4,70mm</p> 
	QB – UFPA Coberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona moderadamente carbonatada. 1,52mm de espessura. Alternância de faixas carbonatadas e pouco carbonatadas.</p> <p>Zona 2: Zona não carbonatada. 1,38mm de espessura. Presença de portlandita, abundância de C-S-H.</p> <p>Zona 3: Zona fracamente carbonatada. 2,21mm de espessura. Presença de finas faixas carbonatadas.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação não microporosa. 0,55mm de espessura.</p> <p>Zona 5: Zona de carbonatação microporosa. 0,54mm de espessura.</p> <p>Entre as zonas 1 a 3, a passagem é brusca e irregular; já entre as zonas 3 a 5, a passagem é gradual.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 6,20mm</p> 

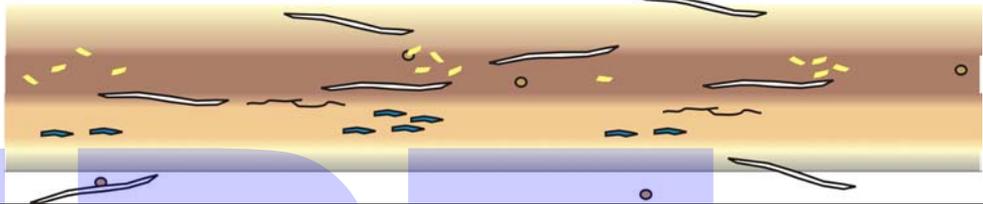
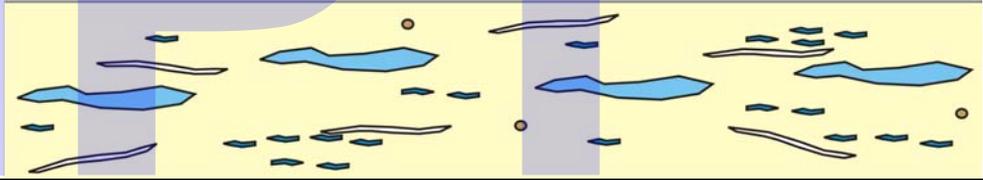
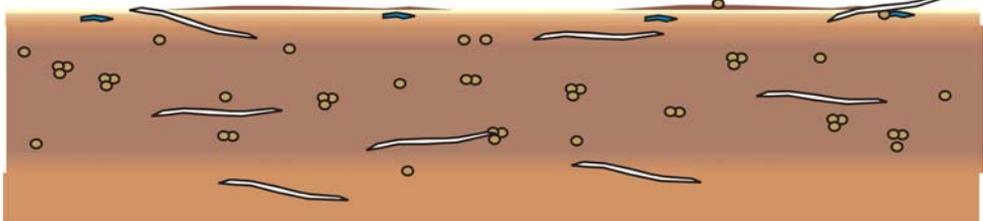
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
UFPA Belém PA	QB – UFPA Descoberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Filme de fuligem + material biológico. 0,07mm de espessura. Zona 2: Zona de carbonatação. 0,11mm de espessura. Zona 3: Zona moderadamente carbonatada. 4,05mm de espessura. Cor muito heterogênea, desenvolvendo regiões circulares milimétricas a submilimétricas claras, em meio a uma matriz média-escura. As porções claras equivalem à regiões com C-S-H + cristais finos de carbonato. A matriz escura é composta por C-S-H não carbonatado. Zona 4: Zona de carbonatação não microporosa. 0,83mm de espessura. Zona 5: Zona de carbonatação microporosa. 0,74mm de espessura. Entre as zonas 1 a 3, a passagem é brusca e irregular; já entre as zonas 3 a 5, a passagem é gradual. ESPESSURA TOTAL: 5,8mm</p> 
	QB – UFPA Quebrada	<p>Telha rompida em região microporosa</p>  <p>Região Microporosa</p>
LUSO Tour Belém PA	LUSO Tour Coberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Telha homogênea. 5,2mm de espessura. Pouco carbonatada, maciça, com microporosidade e faixas carbonatadas Zona 2: Filme maciço de opacos. 0,36mm de espessura. Entre as zonas 1 e 2, a passagem é brusca e regular. ESPESSURA TOTAL: 5,56mm</p> 
	LUSO Tour Descoberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Filme descontínuo de opacos + material biológico. 0,27mm de espessura. Zona 2: Zona de corrosão. 0,09mm de espessura. Composto por sílica gelatinizada + clínquer + fibras. Zona 3: Zona carbonatada microporosa. 2,53mm de espessura. Zona 4: Zona pouco carbonatada não-microporosa. 2,16mm de espessura. Pasta escura, abundância de vazios irregulares. Zona 5: Filme descontínuo e compacto de opacos. 0,07mm de espessura. Entre as zonas 1 e 2, e 4 e 5, a passagem é brusca e irregular; já entre as zonas 2 e 3, a passagem é gradual e regular e entre as zonas 3 e 4 esta é gradual e irregular. ESPESSURA TOTAL: 5,12mm</p> 

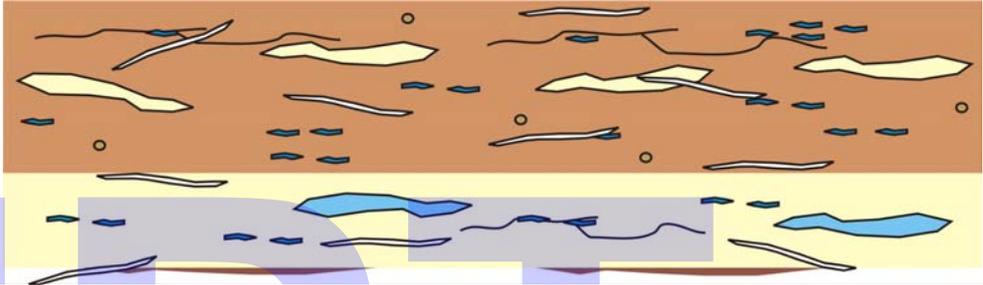
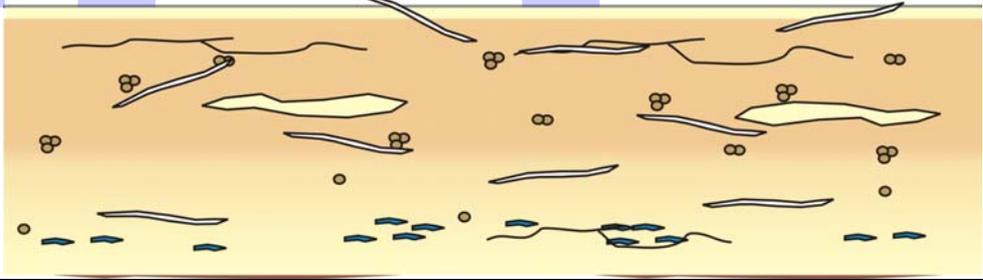
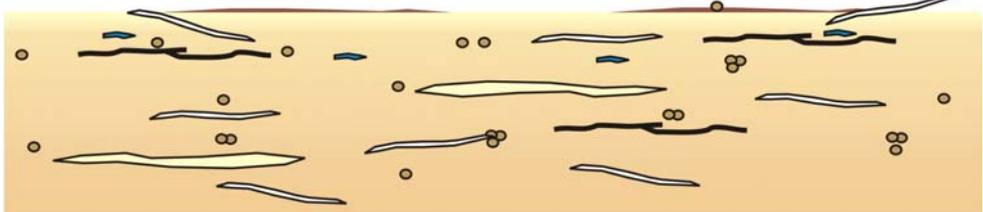
(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
DF impermeabilizantes Belém PA	Galpão - DF	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de carbonatação. 2,16mm de espessura. Presença de regiões moderadamente carbonatadas e vazios irregulares abundantes alinhados como uma camada.</p> <p>Zona 2: 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>Zona 3: Zona moderadamente carbonatada. 1,98mm de espessura. Alternância de faixas carbonatadas e pouco carbonatadas. Ocasionalmente vazios irregulares.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação. 0,69mm de espessura.</p> <p>Zona 5: 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>ESPESSURA TOTAL: 6,26mm</p> 
	Mercadoria - BB	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de corrosão. 0,07mm de espessura. Impregnada com sujeira.</p> <p>Zona 2: Telha homogênea. 6,99mm de espessura. Pasta intensamente carbonatada, clara e porosa, com faixas subordinadas de pasta moderadamente carbonatada, marrom média.</p> <p>Entre as zonas 1 e 2, a passagem é brusca e regular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,06mm</p> 
Banco do Brasil Belém PA	Depósito BB	<p>Zona 1 (superfície externa): Filme de material ferruginoso contínuo. 0,07mm de espessura.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação. 0,04mm de espessura.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação incipiente. 0,43mm de espessura. Pasta muito escura.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação parcial. 5,06mm de espessura. Notam-se pequenos agregados de cristais de carbonato começando a se formar. Pasta heterogênea, mais clara nas regiões mais carbonatadas.</p> <p>Zona 5: Zona de carbonatação incipiente. 1,84mm de espessura. Pasta muito escura.</p> <p>Entre as zonas 1 e 2 a passagem é brusca e regular; já entre as zonas 2 a 5, a passagem é gradual e irregular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,44mm</p> 

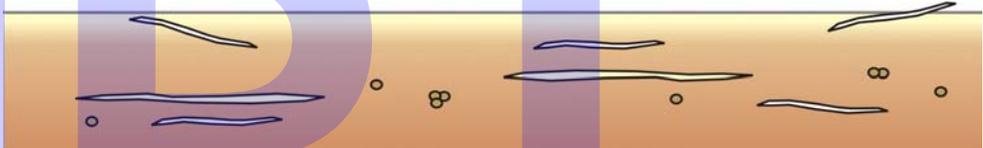
(Continua)

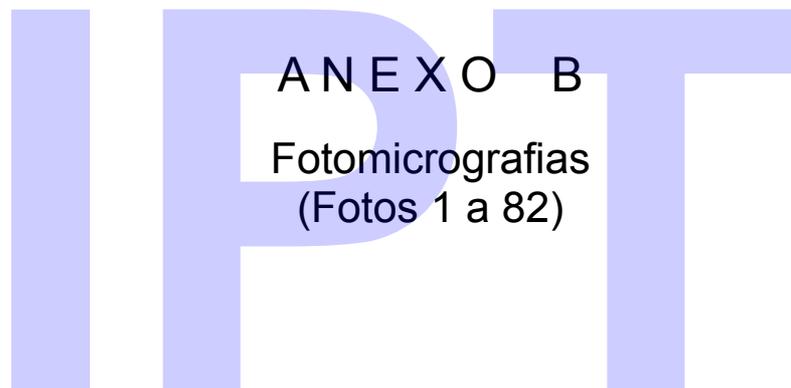
(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
Rodoviária Curitiba PR	Rodoviária Ctba Coberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de carbonatação fraca. 5,89mm de espessura. Presença de lentes delgadas carbonatadas. Vazios irregulares e fissuras abundantes.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação. 3,22mm de espessura. Pasta predominantemente com forte carbonatação. Abundância de vazios irregulares e porosidade.</p> <p>Zona 3: Filme maciço de opacos. 0,23mm de espessura. Sujeira penetra em fissuras e se adere às paredes de vazios irregulares.</p> <p>Entre as zonas 2 e 3 a passagem é brusca e regular; já entre as zonas 1 e 2, a passagem é gradual e irregular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 9,34mm</p> 
Rodoviária Curitiba PR	Rodoviária Ctba Descoberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de corrosão. 0,13mm de espessura. Presença de sílica gelatinizada + fibras + clínquer</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação. 0,41mm de espessura.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação moderada. 4,37mm de espessura. Alternância de faixas com intensa (subordinada) e moderada (predominante) carbonatação. Escassez de vazios.</p> <p>Zona 4: Zona de carbonatação intensa. 3,45mm de espessura. Abundância de vazios irregulares.</p> <p>Zona 5: Filme maciço de opacos. 0,14mm de espessura.</p> <p>Entre as zonas 1 e 2, e 4 e 5 a passagem é brusca e regular; já entre as zonas 2 a 4, a passagem é gradual e irregular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 8,50mm</p> 
Secretaria de Saúde Curitiba PR	Saúde Curitiba	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de carbonatação. 0,11mm de espessura.</p> <p>Zona 2: Telha homogênea, carbonatada. 6,9mm de espessura. Pasta moderadamente carbonatada, com finas lentes intensamente carbonatadas. Vazios irregulares e fissuras mais abundantes próximo à superfície.</p> <p>Entre as zonas 1 e 2, a passagem é brusca e regular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 7,01mm</p> 

(Continua)

(continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Descrição das zonas
Shopping Muller Curitiba PR	Muller Coberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de corrosão. 0,04mm de espessura. Presença de sílica gelatinizada + fibras + clínquer.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação intensa. 0,68mm de espessura. Localmente a pasta é microporosa e ocorrem regiões pouco carbonatadas.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação fraca. 3,4mm de espessura. Presença de portlandita. Pasta escura e abundância de clínquer pouco hidratado.</p> <p>Entre as zonas 1 a 3 a passagem é brusca e regular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 4,12mm</p> 
	Muller Descoberta	<p>Zona 1 (superfície externa): Zona de corrosão. 0,04mm de espessura. Presença de sílica gelatinizada + fibras + clínquer.</p> <p>Zona 2: Zona de carbonatação intensa. 0,13mm de espessura.</p> <p>Zona 3: Zona de carbonatação fraca. 4,37mm de espessura. Presença de finas faixas carbonatadas e microporosas.</p> <p>Entre as zonas 1 a 3 a passagem é brusca e regular.</p> <p>ESPESSURA TOTAL: 4,54mm</p> 



ANEXO B
Fotomicrografias
(Fotos 1 a 82)

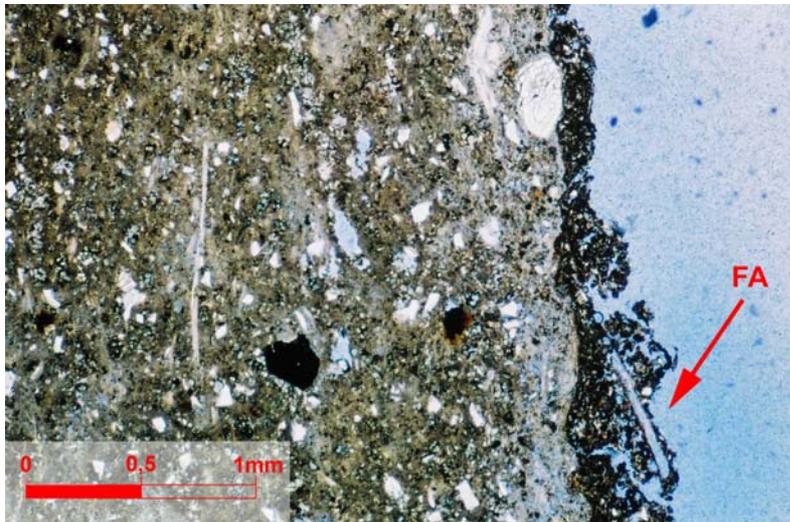


Foto 1 – Am-1.1 Proact. Perfil. Notar que as fibras estão dispostas subparalelamente à superfície e a presença de provável fibra arrancada (FA). Polarizadores descruzados.

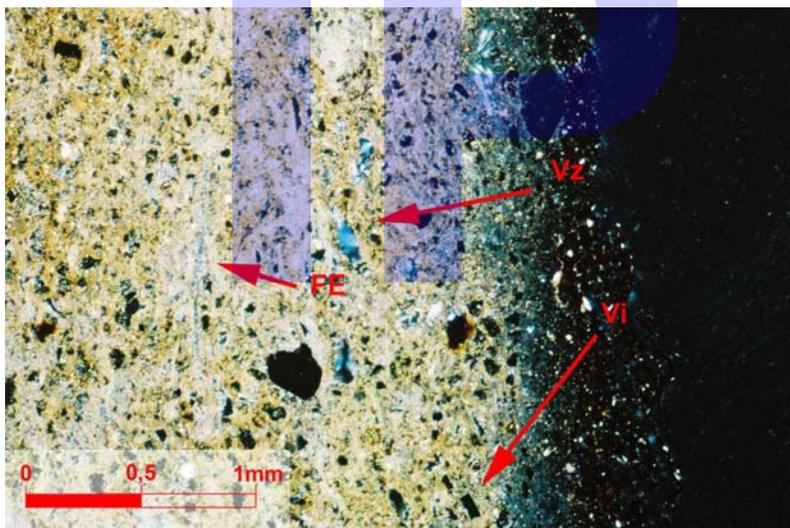


Foto 2 – Am-1.1 Proact. Mesmo aspecto da foto anterior. Pasta fortemente carbonatada. Concentração de vazios irregulares (Vz) e microporosidade próxima à superfície. Destaca-se fibra fortemente embebida na matriz, evidenciando boa adesão com a pasta e a presença de agregado isótopo, provável vidro (Vi). Polarizadores cruzados.

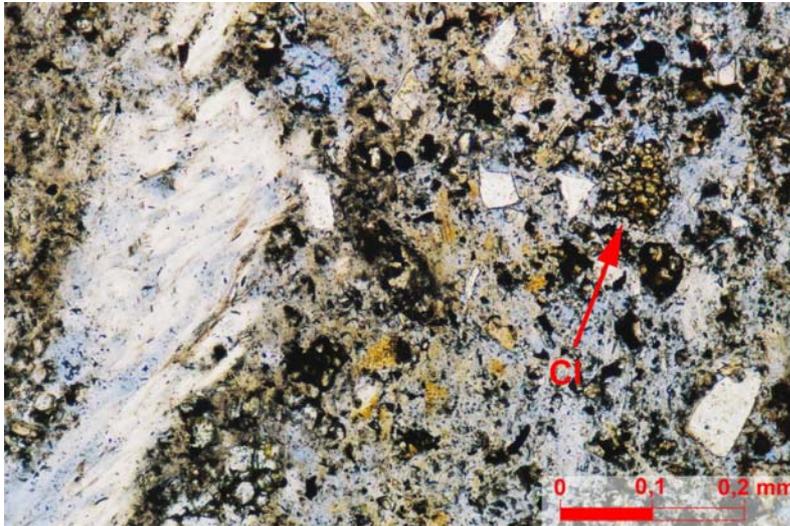


Foto 3 – Am-1.1 Proact. Fibra de crisotila e agregado de clínquer (Cl) em zona muito pobre em matriz cimentícia. Polarizadores descruzados.

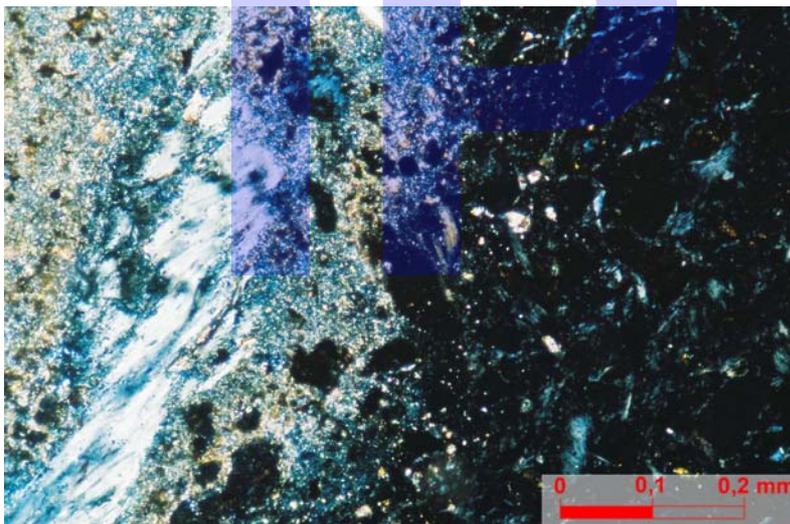


Foto 4 – Am-1.1 Proact. Idem foto anterior. Polarizadores cruzados



Foto 5 – Am-1.1 Proact. Material verde de origem vegetal (provável musgo). Polarizados descruzados.

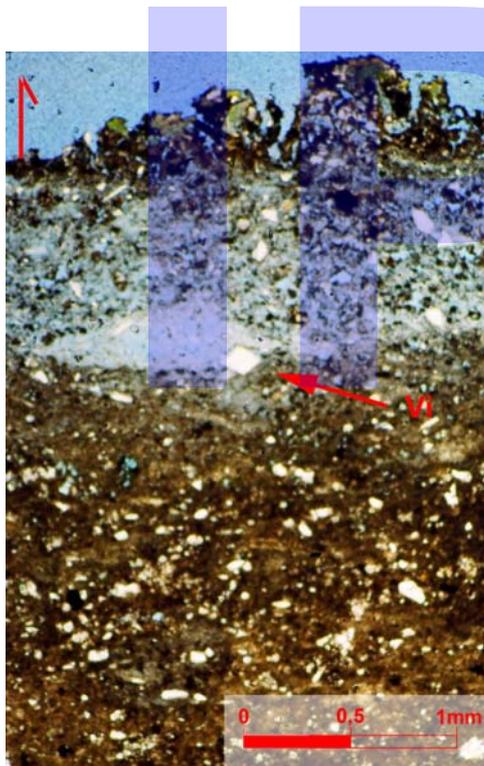


Foto 6 - Am-1.1 Proact. Zona de corrosão com material biológico. Abundância de vidro (losângulo bem ao centro). Polarizadores paralelos.

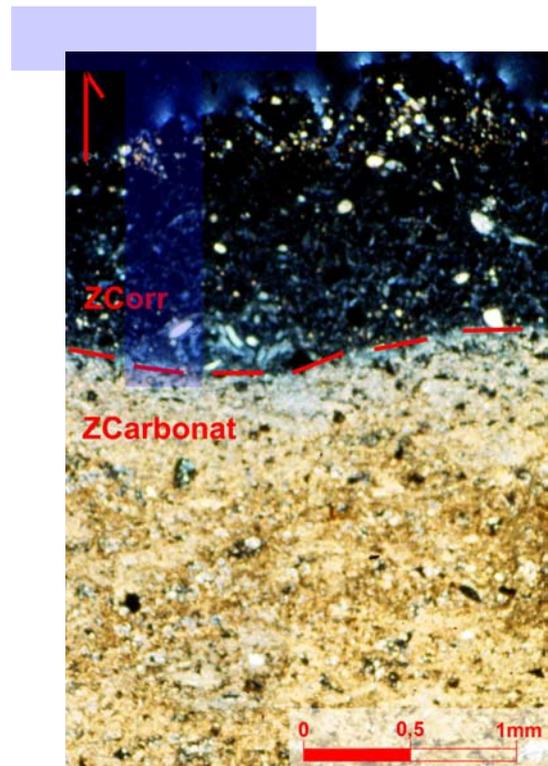


Foto 7 - Am-1.1 Proact. Zona de corrosão com material biológico. Polarizadores cruzados.

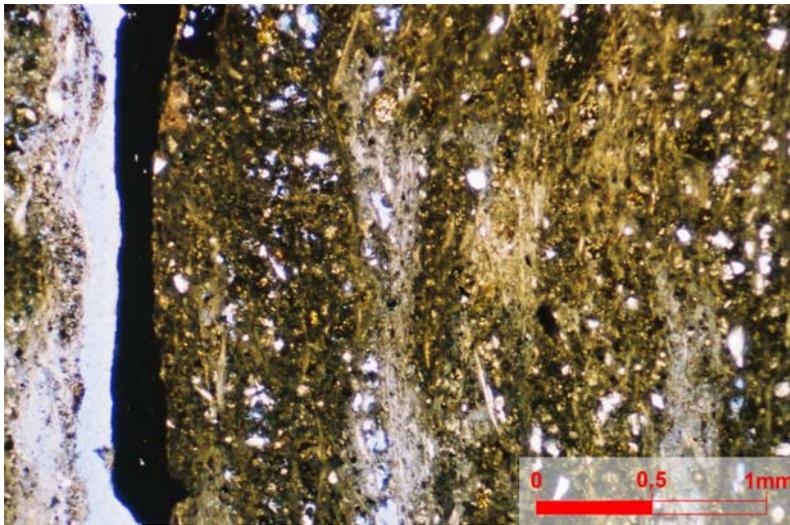


Foto 8 – Am-1.2 Proact. Aspecto geral da superfície externa da telha. Em preto destaca-se filme, de fuligem. As fibras estão dispostas subparalelamente à superfície. Notar abundância de vazios irregulares, em branco azulado. Polarizadores des cruzados.

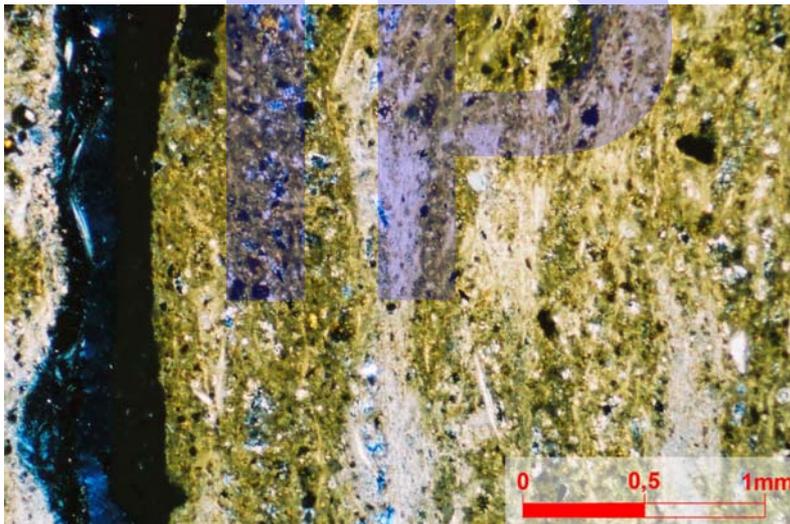


Foto 9 – Am-1.2 Proact. Idem foto anterior. Notar carbonatação na pasta. Polarizadores cruzados.

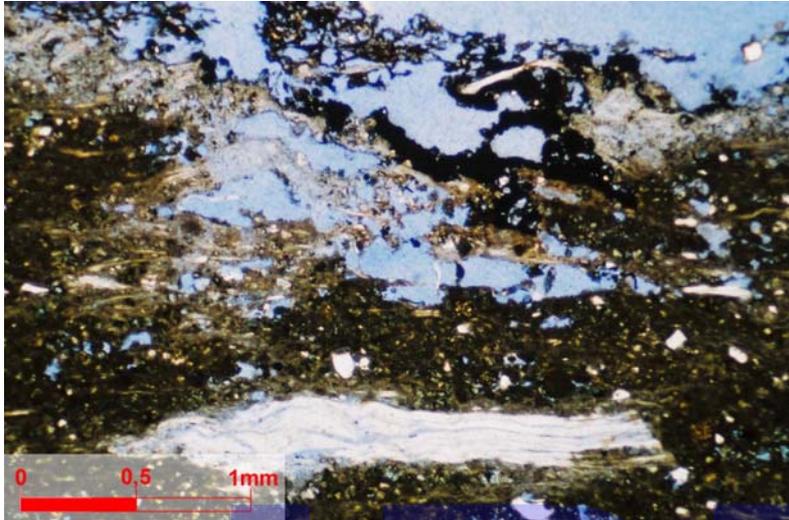


Foto 10 – Am-1.2 Proact. Forte corrosão da telha, com fibras de crisotila pouco aderidas à pasta de cimento. Polarizadores descruzados.

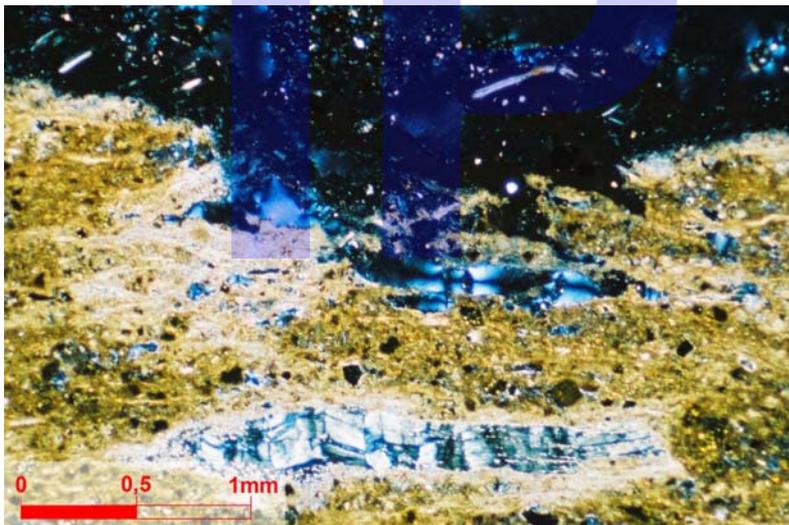


Foto 11 – Am-1.2 Proact. Idem foto anterior. Notar que apesar da forte degradação da pasta, a fibra não apresenta feições de deterioração. Polarizadores cruzados.

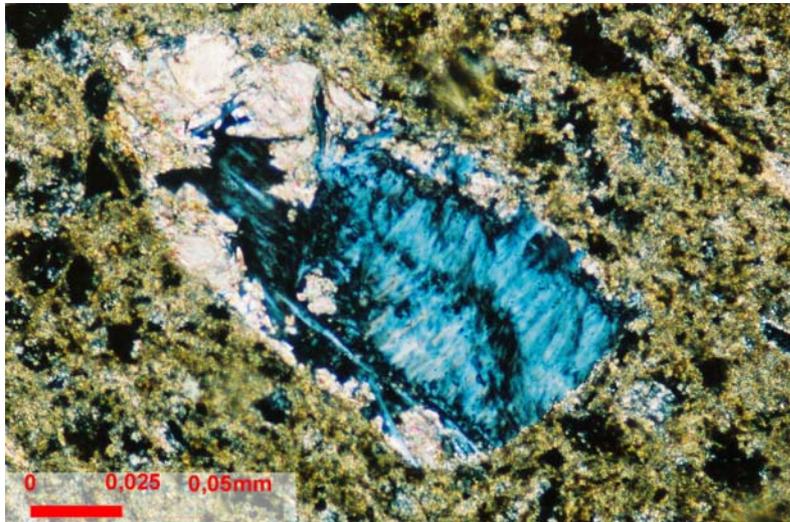


Foto 12 – Am-1.2 Proact. Carbonato na interface da pasta com o agregado, possivelmente como produto de reprecipitação em local de maior porosidade (carbonatação). Polarizadores cruzados.

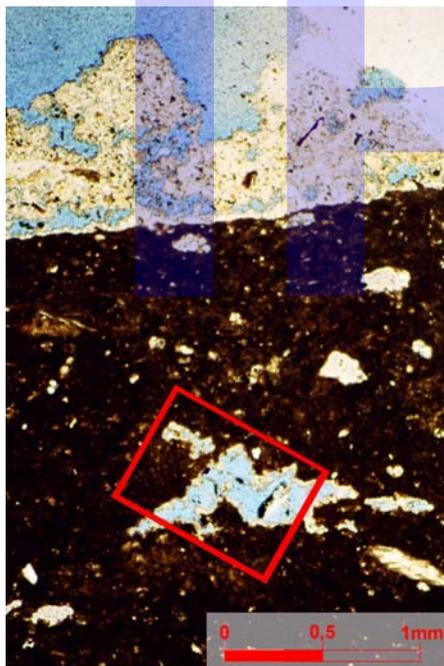


Foto 13 - AM-2 Gás. Gipso em camada próxima ao topo. Vazio irregular parcialmente preenchido por gipso, este crescendo perpendicularmente às paredes do vazio. Polarizadores paralelos.

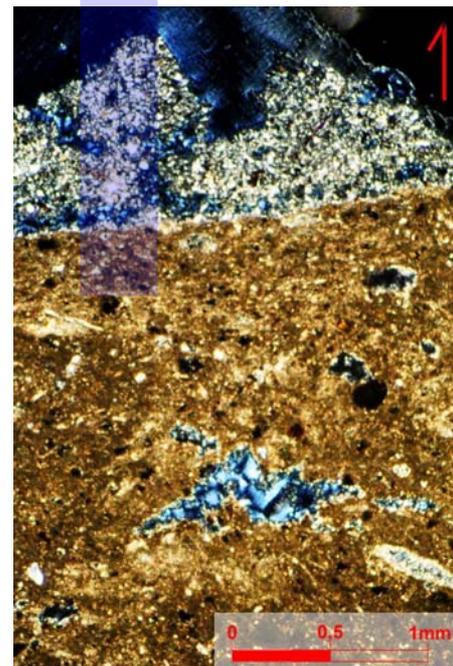


Foto 14 - AM-2 Gás. Gipso em camada próxima ao topo. Vazio irregular parcialmente preenchido por gipso, este crescendo perpendicularmente às paredes do vazio. Polarizadores cruzados.

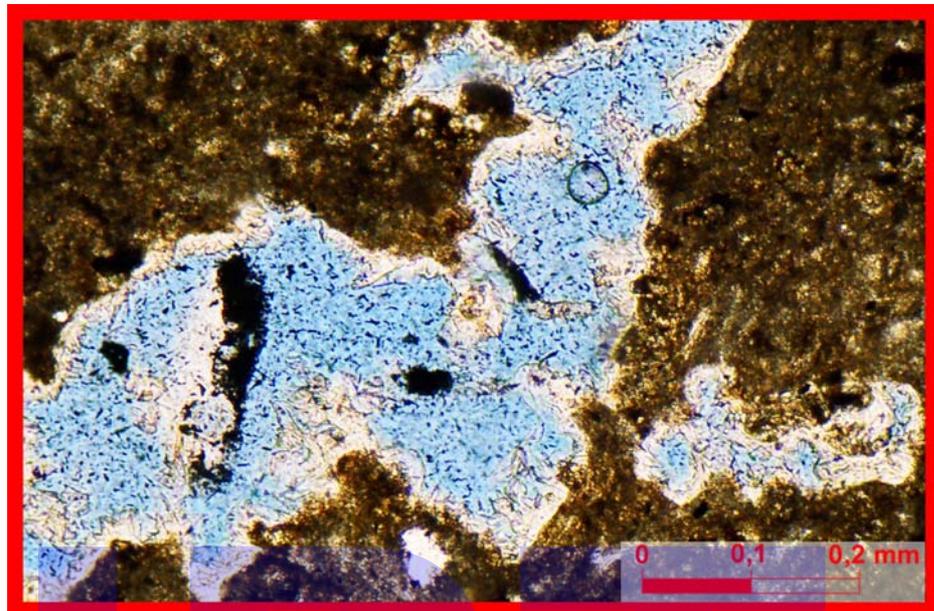


Foto 15 - AM-2 Gás. Detalhe do vazio irregular. Polarizadores paralelos.

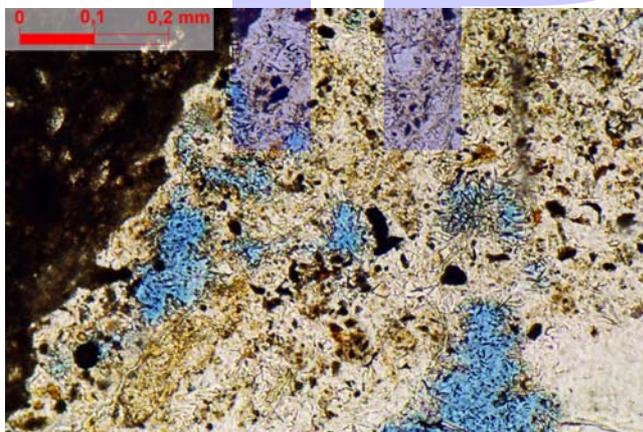


Foto 16 - AM-2 Gás. Detalhe do material da superfície. Notar espessamento dos cristais paralelamente à superfície e abundância de material opaco (óxidos e hidróxidos de ferro). Polarizadores paralelos.

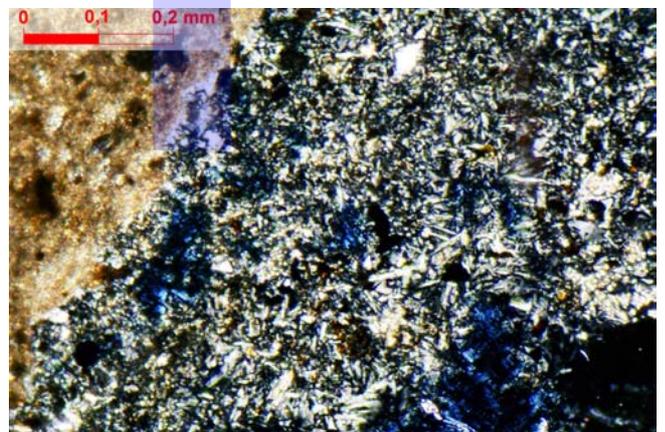


Foto 17 - AM-2 Gás. Detalhe do material da superfície. Notar espessamento dos cristais paralelamente à superfície e abundância de material opaco (óxidos e hidróxidos de ferro). Polarizadores cruzados.



Foto 18 - AM-2 Gás. Prisma de crocidalita. Polarizadores paralelos.



Foto 19 - AM-2 Gás. Fibras de crocidalita. Polarizadores paralelos.

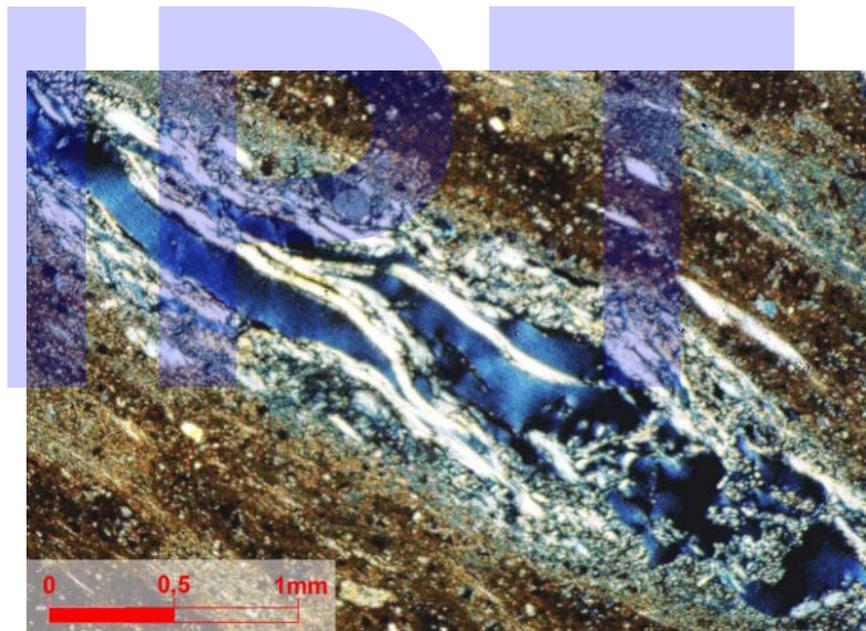


Foto 20 - AM-3 Aciaria. Fibra de crisotila em grande vazio irregular, evidenciando que a descontinuidade interfibrilas favorece percolação de água. Polarizadores cruzados.

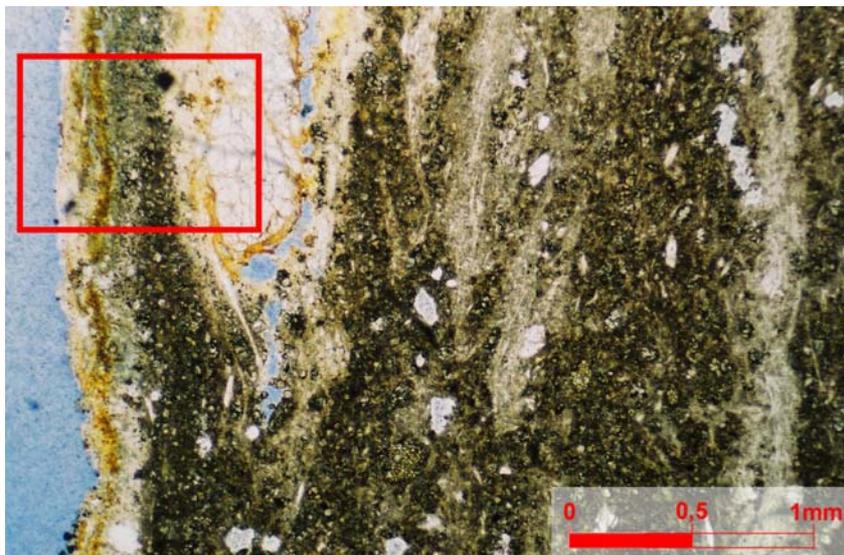


Foto 21 – Am-4 Forjaria. Aspecto geral. Notar a presença de filme de material ferruginoso na porção externa e envolvendo um agregado da crisotila. Em destaque área da FOTO 36. Polarizadores descruzados.

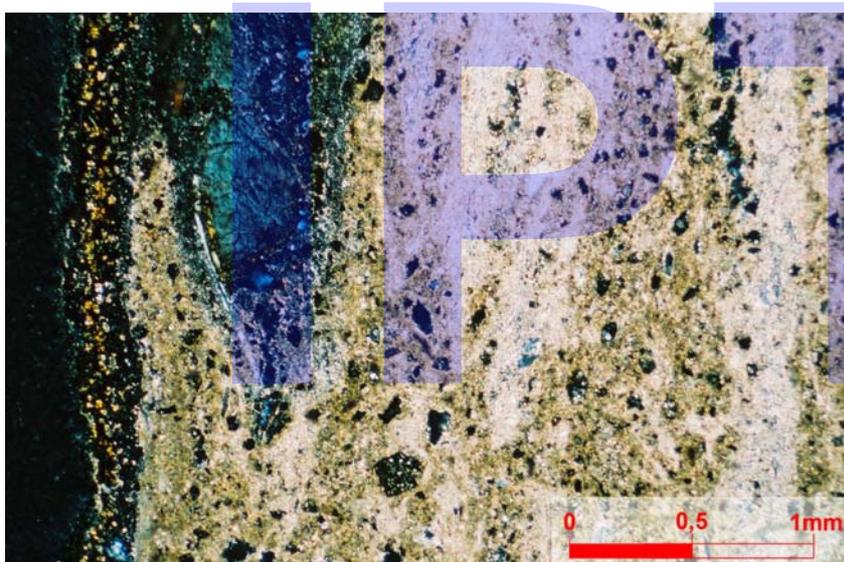


Foto 22 – Am-4 Forjaria. Idem foto anterior. Notar carbonatação intensa da pasta e abundância de clínquer, destacando-se um “cacho” de clínquer na porção central inferior da foto. Polarizadores cruzados.

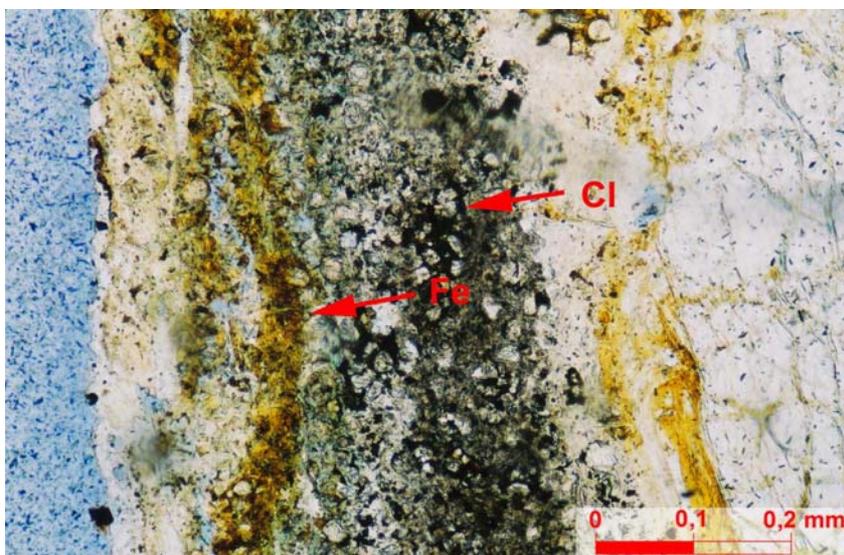


Foto 22a – Am-4 Forjaria. Detalhe da porção externa. Notar filme de material amarelado, ferruginoso (Fe), impregnando inclusive o agregado de crisotila do canto direito da foto (em branco). Notar que os minerais de cimento (Cl) e os agregados apresentam pouca coesão, devido à perda de matriz cimentícia. Polarizadores descruzados.

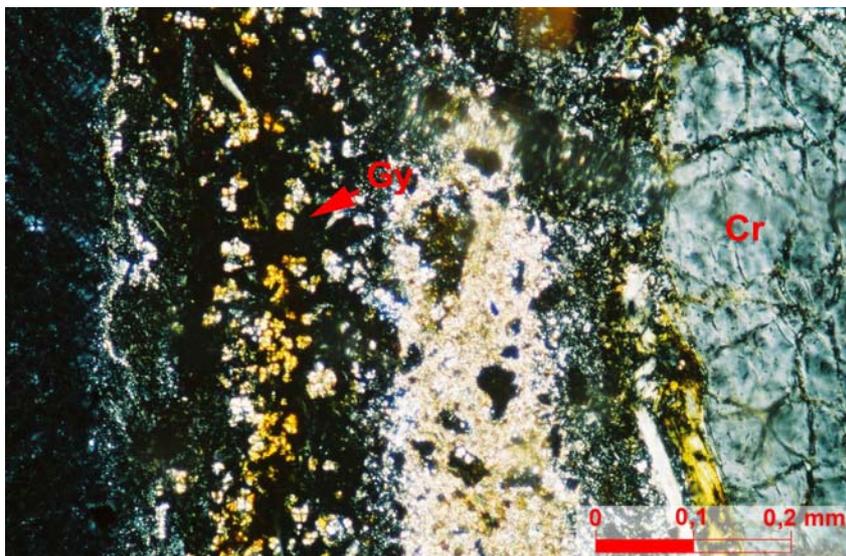


Foto 23 – Am-4 Forjaria. Idem foto anterior. Presença de camada rica em rosetas de gipso (Gy), oriunda de processos extrínsecos. Agregado de crisotila identificado pela sigla Cr. Notar resto de pasta intensamente carbonatada, preservada do processo de lixiviação. Polarizadores cruzados.

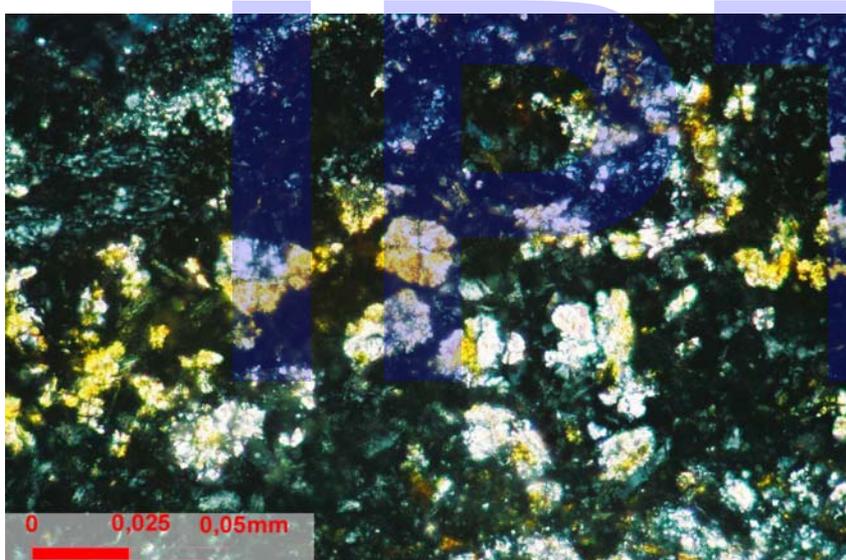


Foto 24 – Am-4 Forjaria. Detalhe de rosetas de gipso impregnadas por material ferruginoso. Polarizadores cruzados.

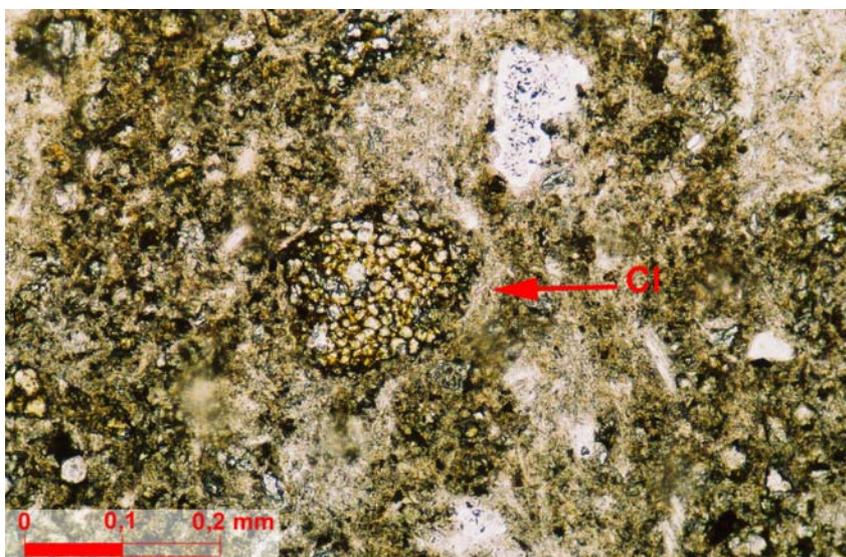


Foto 25 – Am-4 Forjaria. Cacho de clínquer – provável belita – com halo de hidratação pouco desenvolvido (Cl). Polarizadores descruzados.

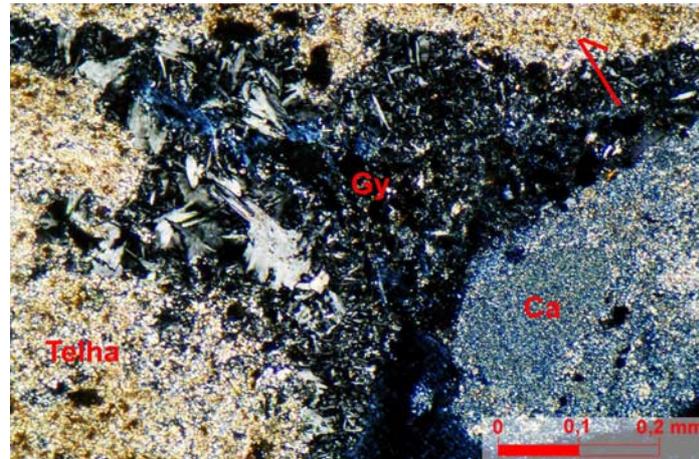


Foto 26 - AM-5.1 Eixos. Camada de gipso sob camada de carbonato micrítico. Polarizadores cruzados.

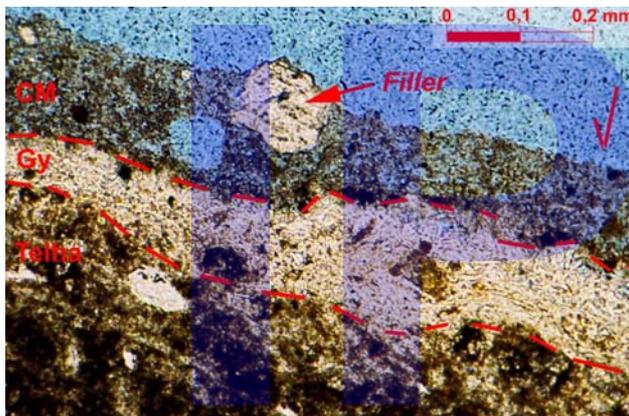


Foto 27 - AM-5.1 Eixos. Idem foto anterior. Presença de carbonato grosso. Base. Polarizadores paralelos.

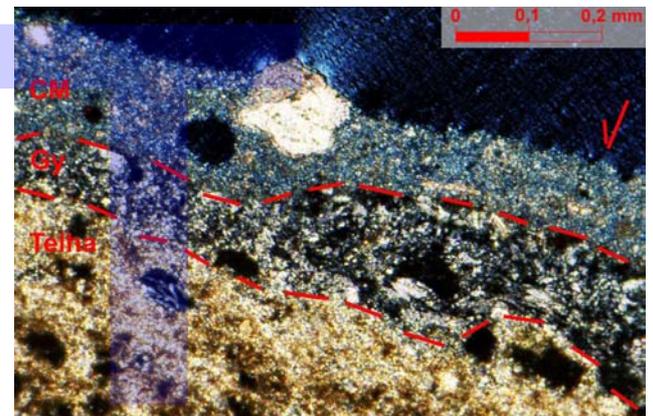


Foto 28 - AM-5.1 Eixos. Idem foto anterior. Presença de carbonato grosso. Base. Polarizadores cruzados.

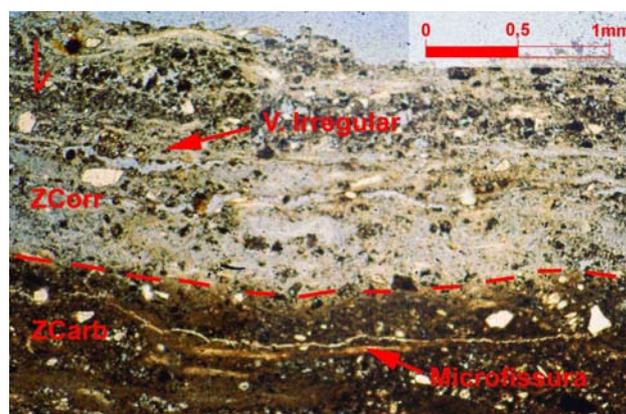


Foto 29 - AM-5.2 Eixos. Microfissura próximo à interface zona de corrosão / zona de carbonatada microporosa. Semelhança entre microfissura e vazio irregular, sugerindo que a 1ª evolui para a 2ª com o avanço da deterioração. Perfil da base. Polarizadores paralelos.

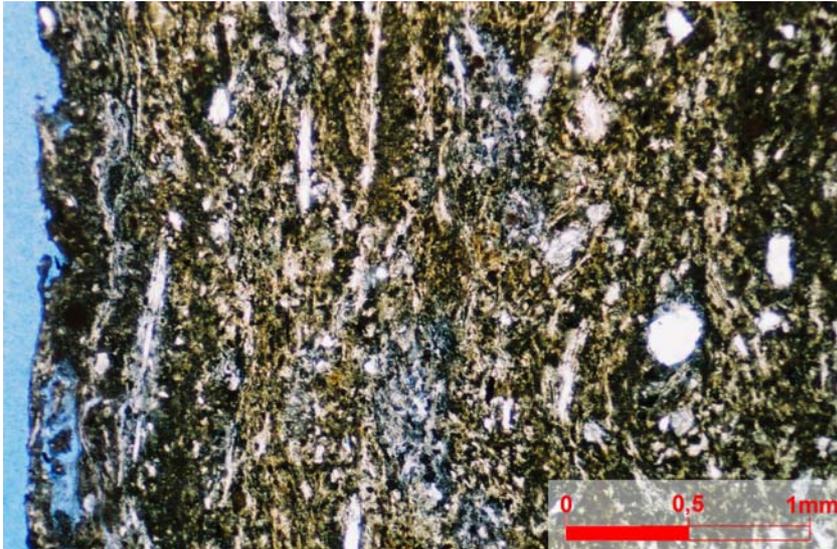


Foto 30 – Nova. Aspecto geral. Notar disposição das fibras subparalelamente à superfície e pasta escura. Polarizadores descruzados

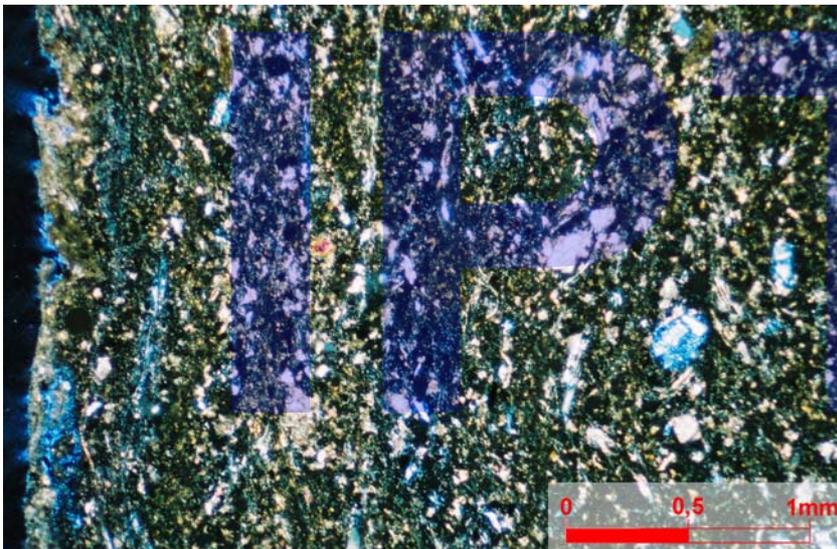


Foto 31 – Nova. Idem foto anterior. Pasta muito pouco carbonatada. Notar presença de vazios irregulares (em azul) de pequena dimensão. Polarizadores cruzados.

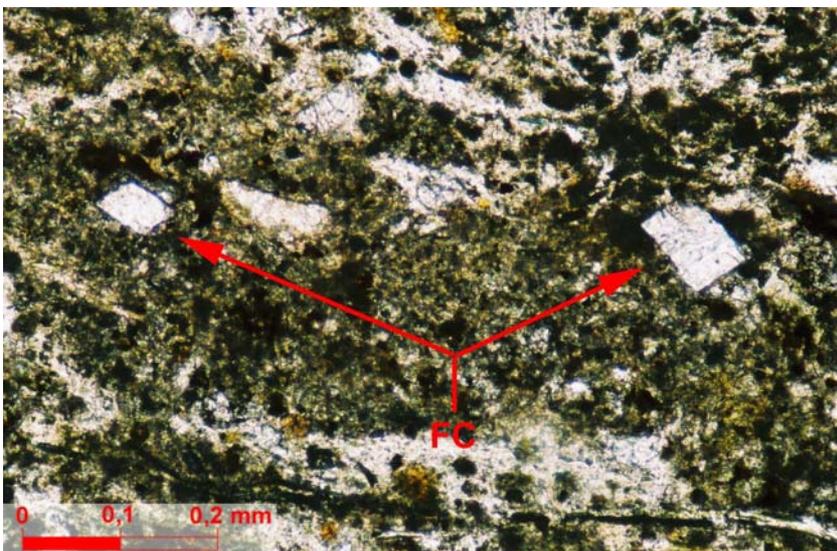


Foto 32 – Nova. Fíler carbonático. Polarizadores descruzados.

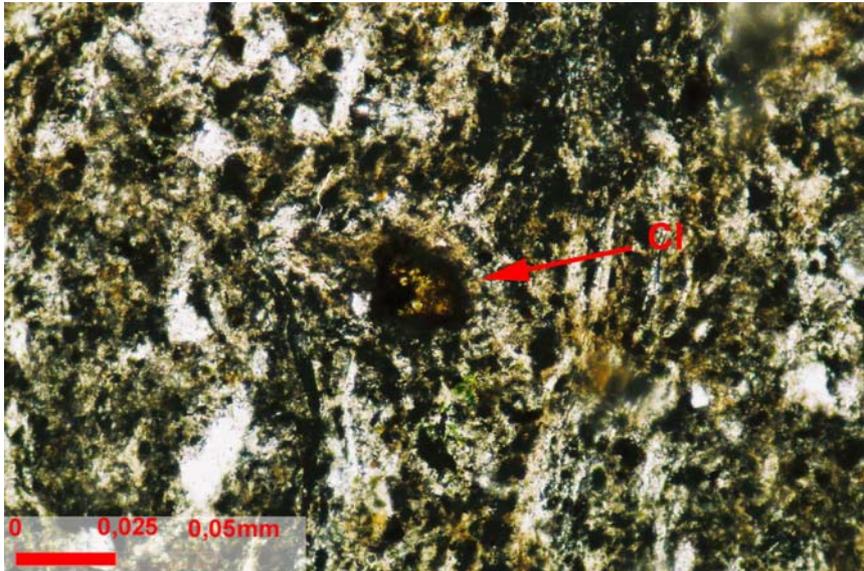


Foto 33 – Nova. Raro clínquer com halo de hidratação muito desenvolvido. Polarizadores descruzados.

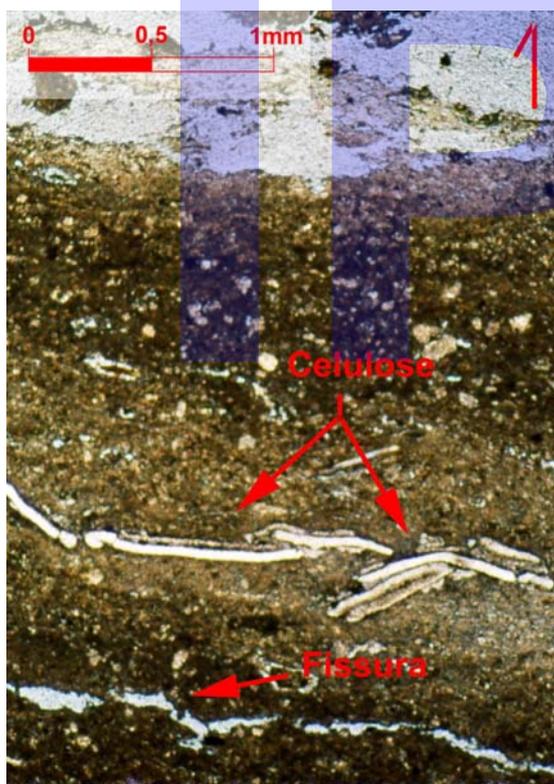


Foto 34 - Crespum Descoberta. Perfil de alteração do topo. Zona de corrosão e zona carbonatada. Fibra de celulose e fissura "alargada" por dissolução, com paredes irregulares, paralelas à superfície. Polarizadores paralelos.



Foto 35 - Crespum Descoberta. Perfil de alteração do topo. Zona de corrosão e zona carbonatada. Fibra de celulose e fissura "alargada" por dissolução, com paredes irregulares, paralelas à superfície. Polarizadores cruzados.

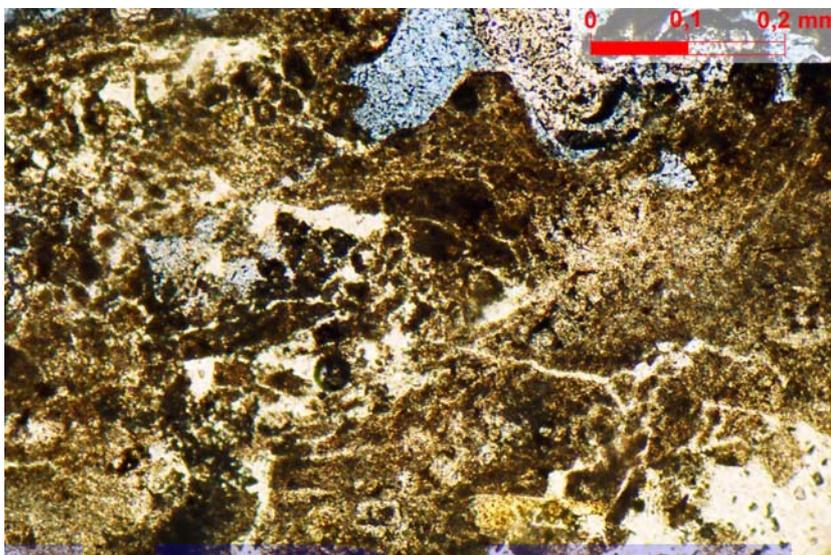


Foto 36 - Saúde - RJ Coberta – Canais micrométricos de dissolução. Possivelmente são canais capilares pretéritos da telha, aproveitados como caminhos de percolação de água. Polarizadores cruzados.

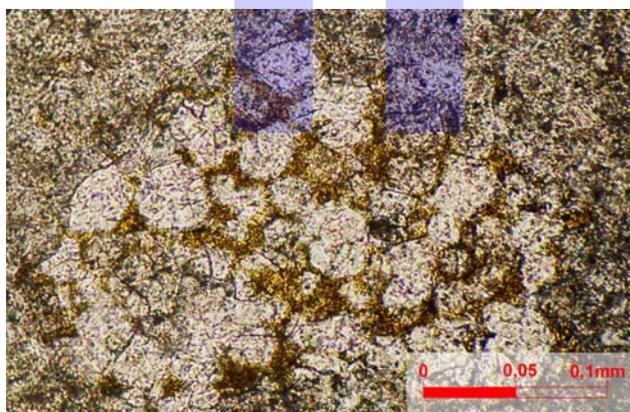


Foto 37 - Ondulada refeitório Coberta. Clínquer pouco hidratado. Fases intersticiais em tom amarronzado. Polarizadores paralelos.

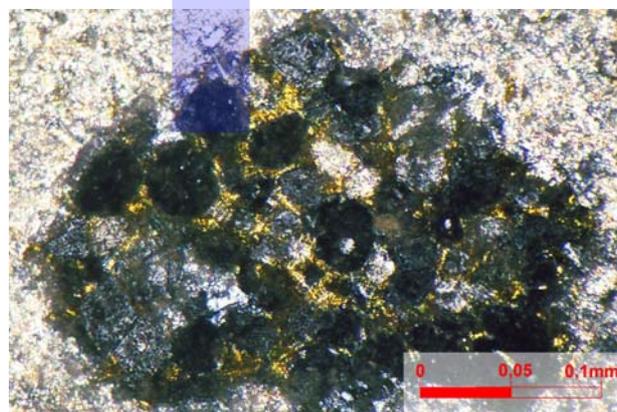


Foto 38 - Ondulada refeitório Coberta. Clínquer pouco hidratado. Fases intersticiais em tom amarronzado. Polarizadores cruzados.

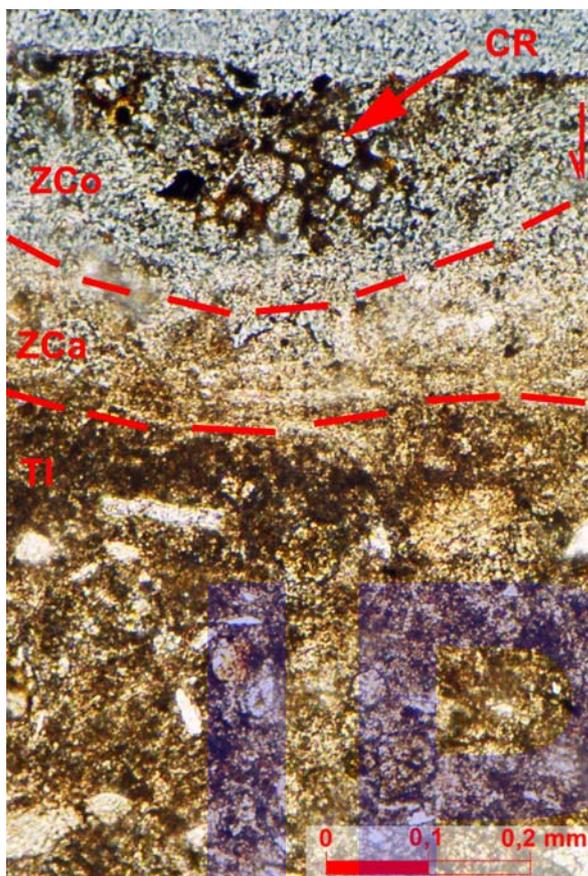


Foto 39 - Ondulada refeitério Coberta. Perfil de alteração da BASE. Zona de corrosão, carbonatação e pouco carbonatada. Notar grãos de clínquer e fibras como “inertes” e impregnação por óxidos e hidróxidos de ferro. Polarizadores paralelos.

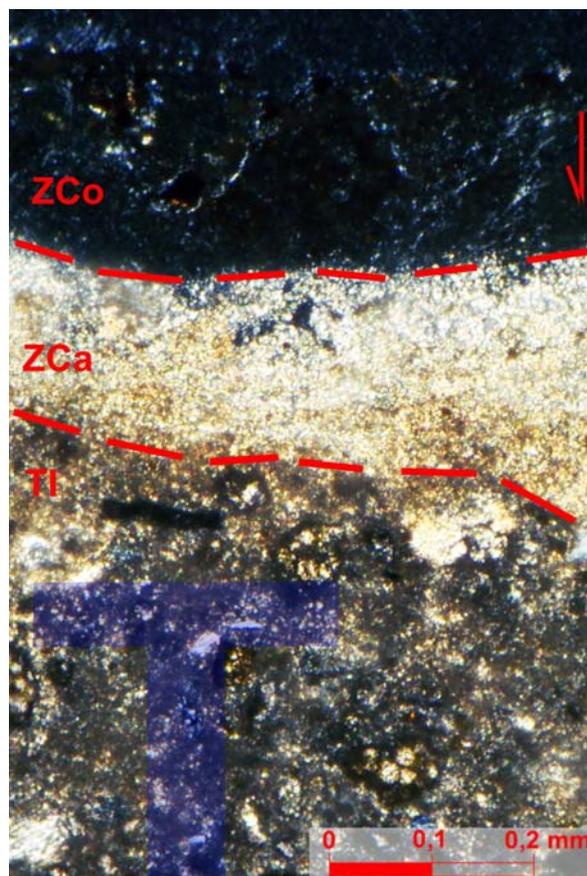


Foto 40 - Ondulada refeitério Coberta. Perfil de alteração da BASE. Zona de corrosão, carbonatação e pouco carbonatada. Notar grãos de clínquer e fibras como “inertes” e impregnação por óxidos e hidróxidos de ferro. Polarizadores cruzados.

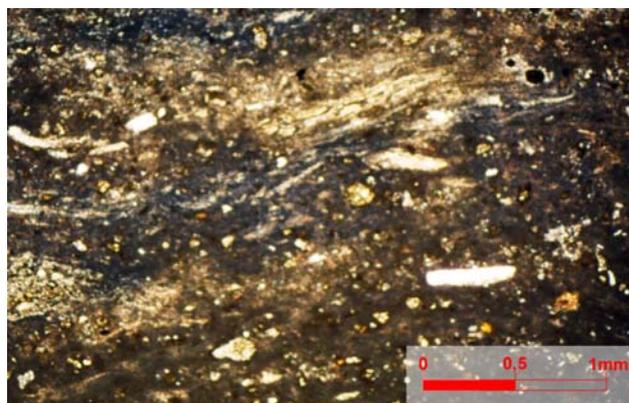


Foto 41 - Ondulada refeitério Descoberta. Aspecto geral. Pasta “esfumaçada” devido à carbonatação muito incipiente. Clínquer pouco hidratado. Lixiviado de portlandita. Polarizadores paralelos.

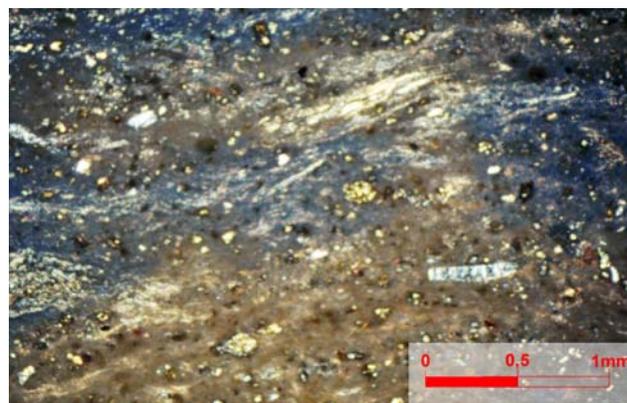


Foto 42 - Ondulada refeitério Descoberta. Aspecto geral. Pasta “esfumaçada” devido à carbonatação muito incipiente. Clínquer pouco hidratado. Lixiviado de portlandita. Polarizadores cruzados.

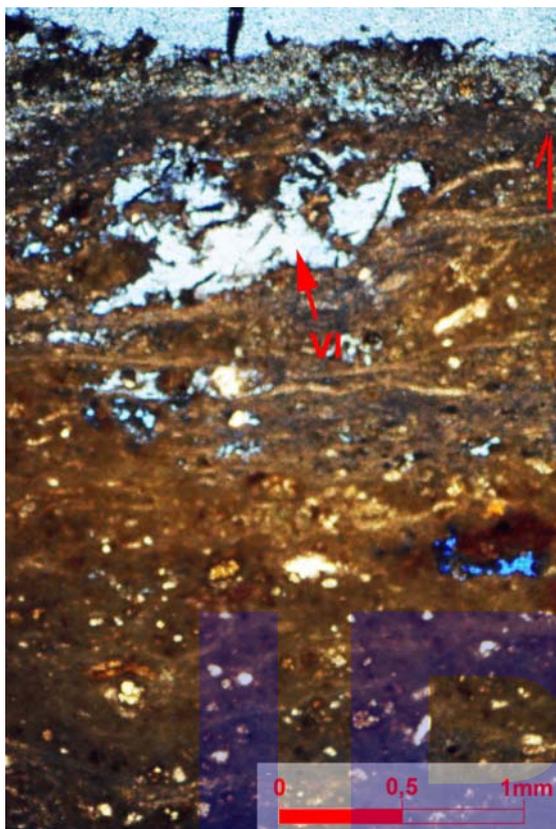


Foto 43 - Ondulada refeitório Descoberta. Perfil de alteração do topo. Zona de corrosão com sujeira, zona de carbonatação com vazios irregulares. Polarizadores paralelos.

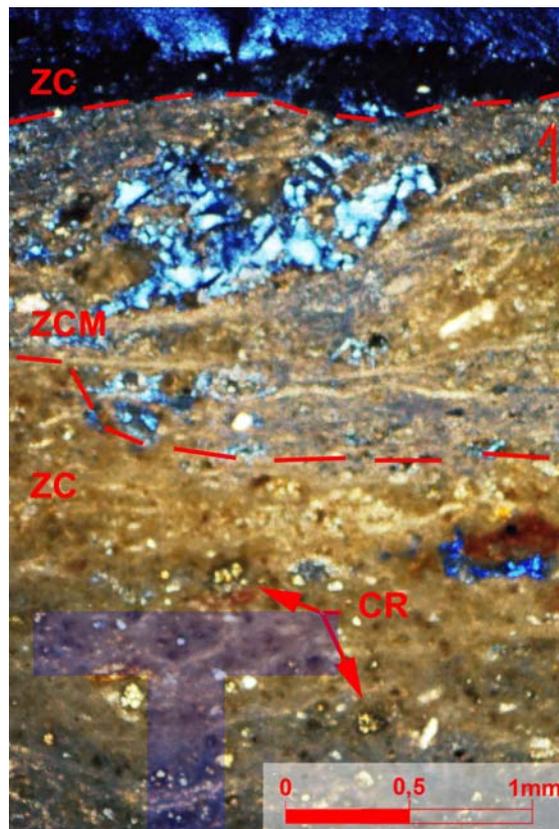


Foto 44 - Ondulada refeitório Descoberta. Perfil de alteração do topo. Zona de corrosão com sujeira, zona de carbonatação com vazios irregulares. Polarizadores cruzados.



Foto 45 - Cumeeira refeitório Coberta. Fibra de celulose. Notar abundância de pontinhos marrons avermelhados, sendo fases ferríferas hidratadas. Fibras diferenciam-se da crisotila pela forma e birrefringência. Polarizadores paralelos.



Foto 46 - Cumeeira refeitório Coberta. Fibra de celulose. Notar abundância de pontinhos marrons avermelhados, sendo fases ferríferas hidratadas. Fibras diferenciam-se da crisotila pela forma e birrefringência. Polarizadores cruzados.

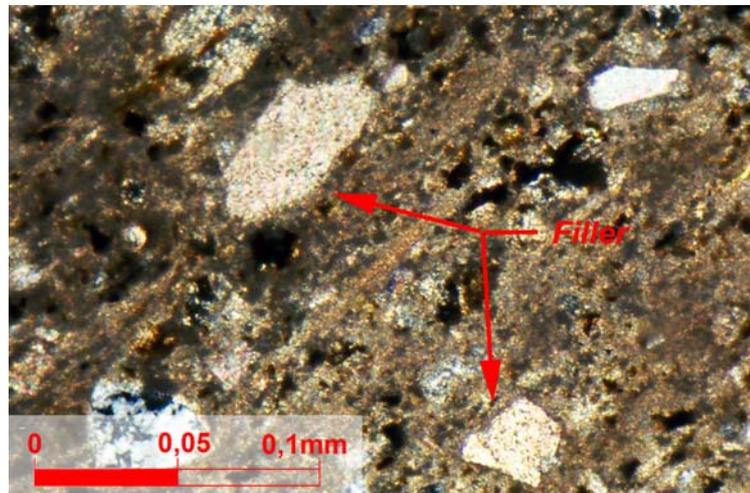


Foto 47 - Cumeeira refeitório Coberta. parte de baixo. *Filler* calcário e agregado de fibrila de crisotila em matriz carbonatada. Polarizadores cruzados.

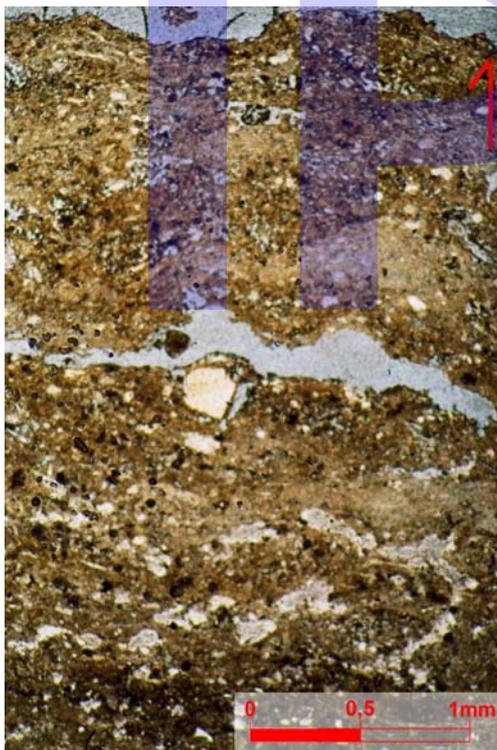


Foto 48 - Crespum Coberta. Telha muito carbonatada (homogênea) e porosa. Deterioração avançada. Polarizadores Paralelos.



Foto 49 - Crespum Coberta. Telha muito carbonatada (homogênea) e porosa. Deterioração avançada. Polarizadores cruzados.

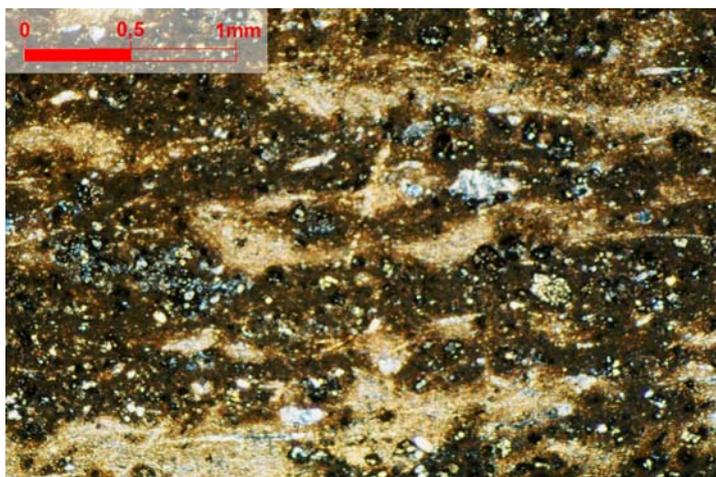


Foto 50 - Hangar 1. Aspecto estratificado da telha. Grãos de clínquer com pequeno halo de hidratação. Faixas carbonatadas todas em matriz fracamente carbonatada. Vazio irregular em azul. Polarizadores cruzados.

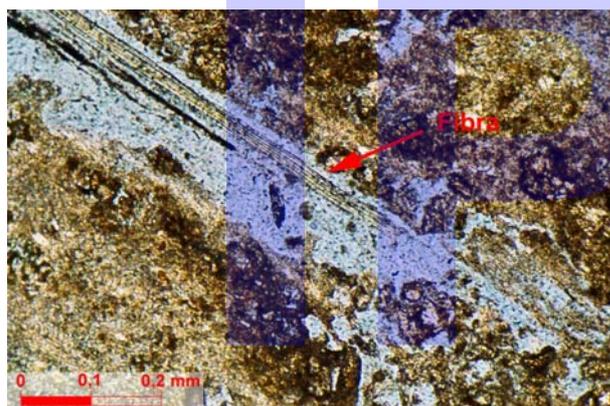


Foto 51 - Hangar 2. Região da base. Fibra desagregada da pasta. Pasta muito carbonatada e porosa, persistindo, entre grãos de clínquer remanescentes. Polarizadores paralelos.

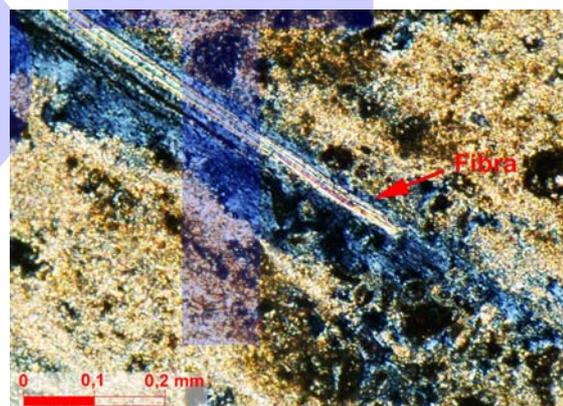


Foto 52 - Hangar 2. Região da base. Fibra desagregada da pasta. Pasta muito carbonatada e porosa, persistindo, entre grãos de clínquer remanescentes. Polarizadores cruzados.

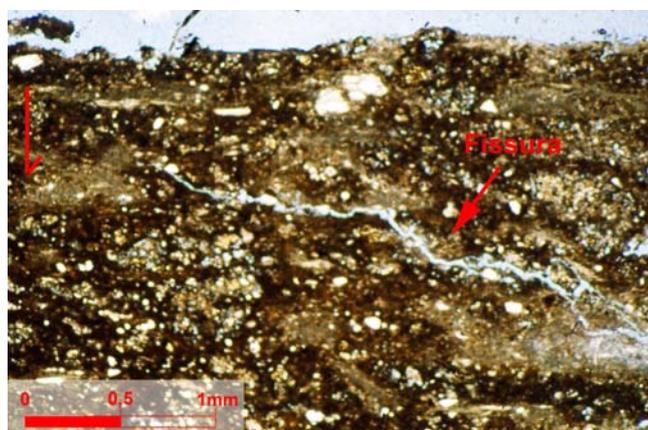


Foto 53 - Hangar 3. Fissura próxima à base, contornando clínquer ramificado em região microporosa (vibração do hangar?). Polariza-

dores paralelos.

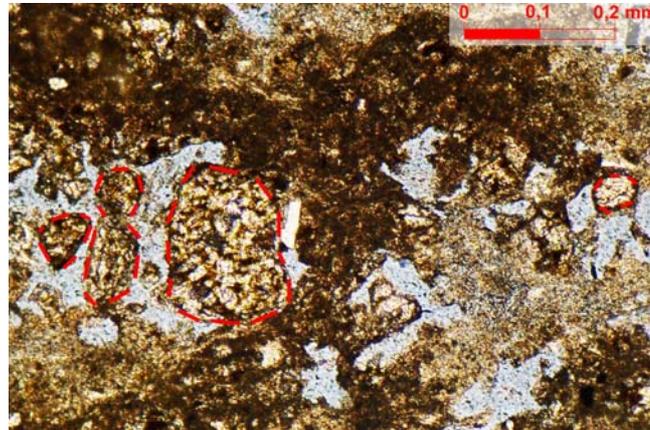


Foto 54 - Hangar 4. Detalhe de clínquer "isolado" em vazios irregulares próximos à base (aspecto claramente de dissolução). Matriz dissolvida. Polarizadores paralelos.

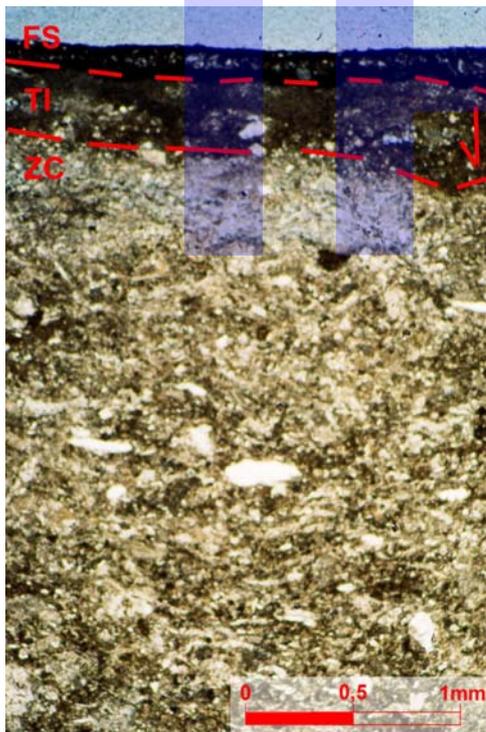


Foto 55 - Pavilhão Phebo Coberta. Perfil da base. Abundância de *filler* calcário. Filme de sujeira, zona carbonatada. Polarizadores paralelos.

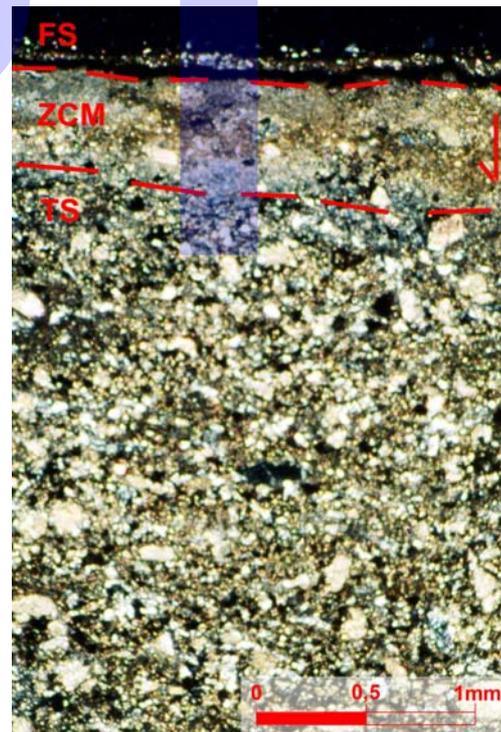


Foto 56 - Pavilhão Phebo Coberta. Perfil da base. Abundância de *filler* calcário. Filme de sujeira, zona carbonatada. Polarizadores cruzados.

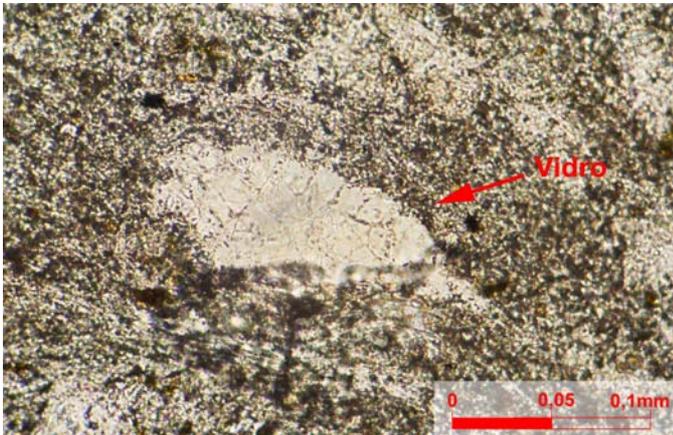


Foto 57 - Pavilhão Phebo Coberta. Grão de vidro. Fraturas típicas de vidro, com material birrefringente. Polarizadores paralelos.



Foto 58 - Pavilhão Phebo Coberta. Grão de vidro. Fraturas típicas de vidro, com material birrefringente. Polarizadores cruzados.

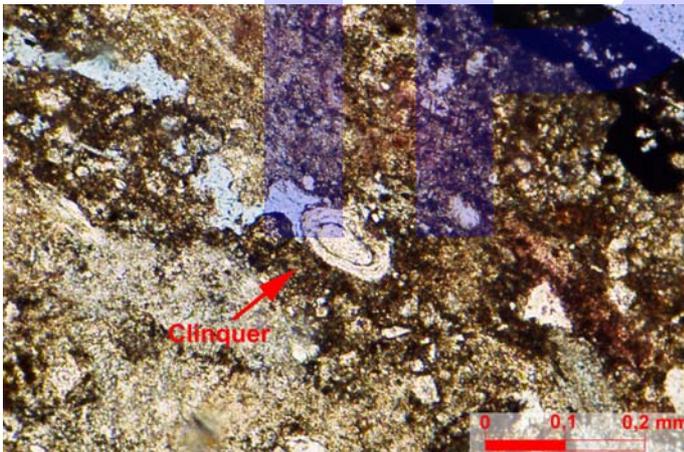


Foto 59 - Pavilhão Phebo Coberta. Grão de clínquer com halo estratificado de gel parcialmente carbonatado. Polarizadores paralelos.



Foto 60 - Pavilhão Phebo Coberta. Grão de clínquer com halo estratificado de gel parcialmente carbonatado. Polarizadores cruzados.

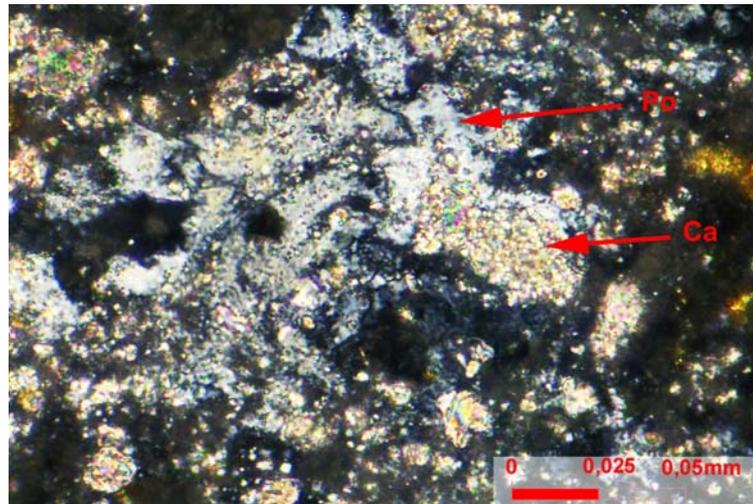


Foto 61 - Pavilhão Phebo Coberta. Portlandita corroída por carbonato. Polarizadores cruzados.



Foto 62 - Pavilhão Phebo Descoberta. Perfil da BASE: Filme, corrosão e lixiviação 1: "raízes" de carbonato escuro (impregnado ou mais fino?) penetrando na zona já carbonatada. Polarizadores paralelos.

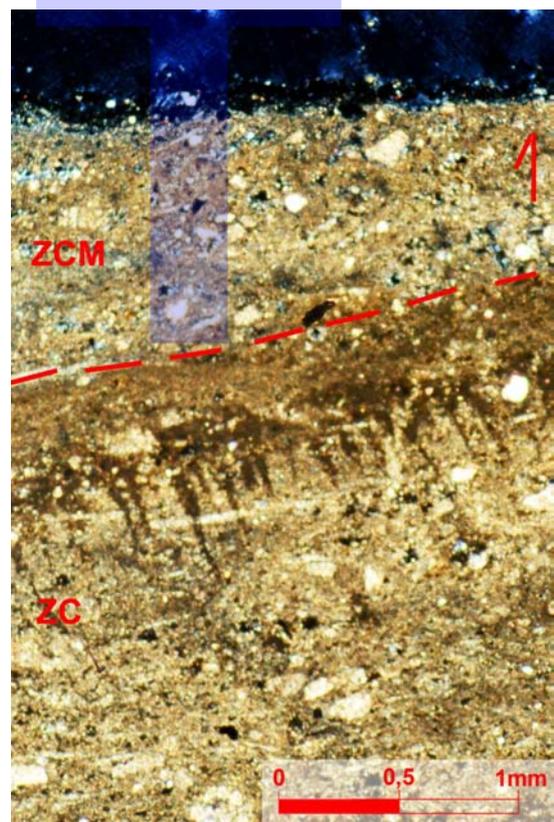


Foto 63 - Pavilhão Phebo Descoberta. Perfil da BASE: Filme, corrosão e lixiviação 1: "raízes" de carbonato escuro (impregnado ou mais fino?) penetrando na zona já carbonatada. Polarizadores cruzados.

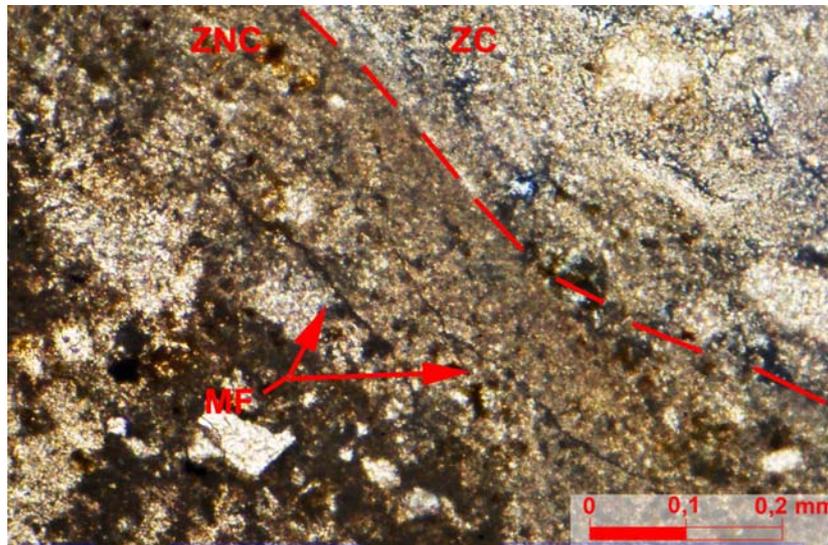


Foto 64 - Pavilhão Phebo Descoberta. Microfissuras na interface de região carbonatada e região carbonatada porosa (por contração da cristalização do carbonato?). Polarizadores paralelos.

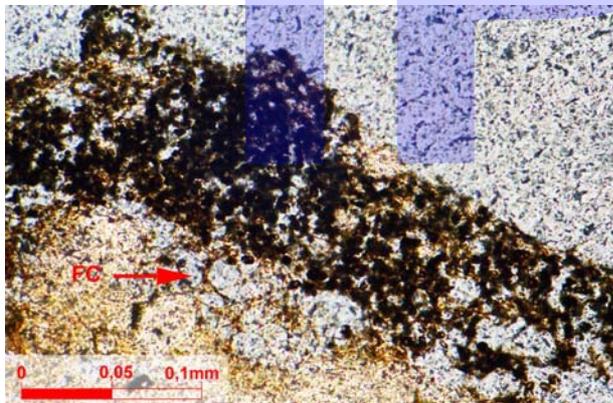


Foto 65 - Embalagens - Phebo. Sujeira na forma de pequenas esferas avermelhadas. Fantasmas de clínquer arrancados. Polarizadores paralelos.

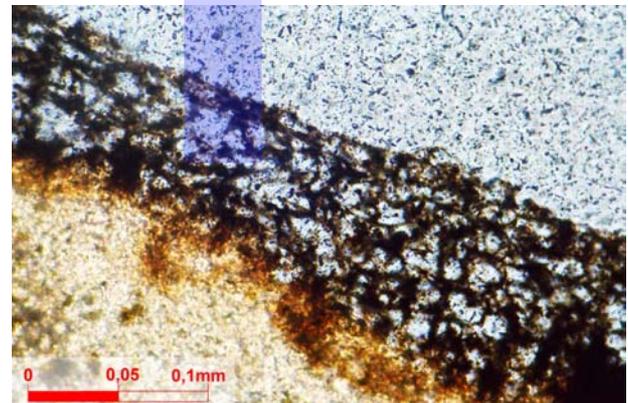


Foto 66 - Embalagens - Phebo. Sujeira: material filamentosos. Polarizadores paralelos.

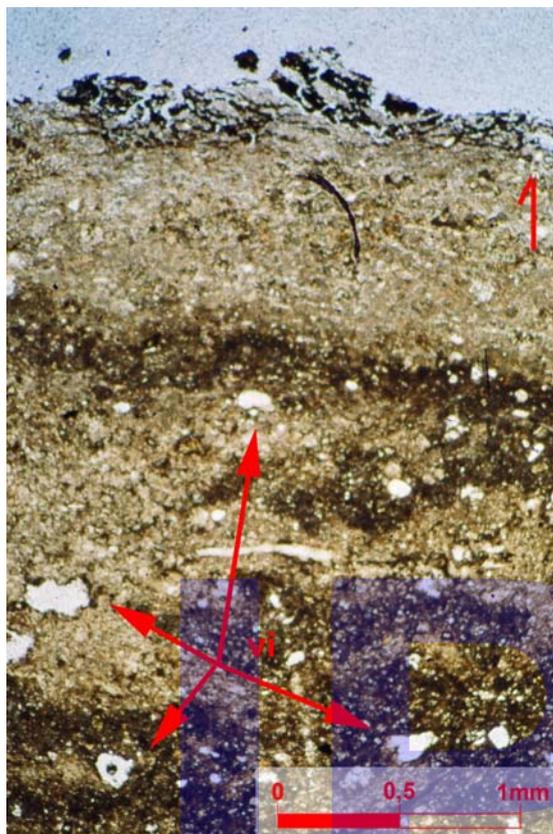


Foto 67 - Embalagens - Phebo Descoberta. Perfil do topo: Sujeira penetrando na telha, abundância de vazios irregulares, telha pobre em fibra, pouco clínquer residual. Polarizadores paralelos.

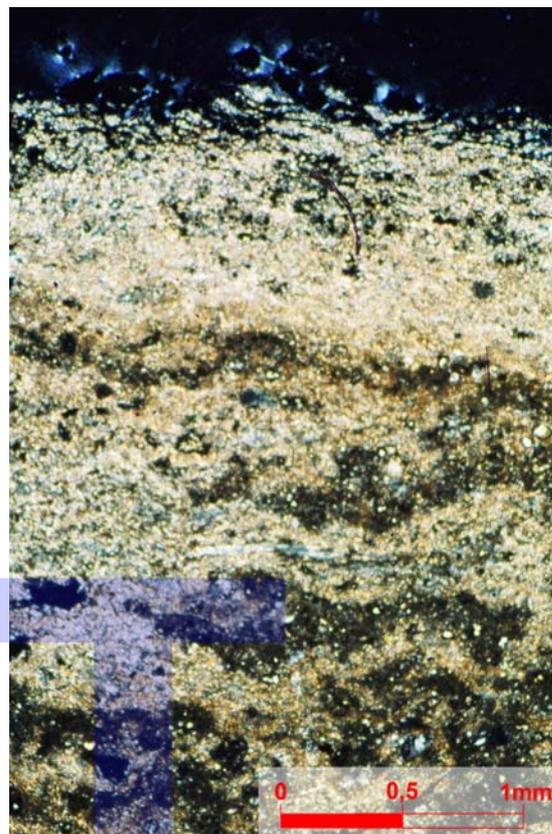


Foto 68 - Embalagens - Phebo Descoberta. Perfil do topo: Sujeira penetrando na telha, abundância de vazios irregulares, telha pobre em fibra, pouco clínquer residual. Polarizadores cruzados.

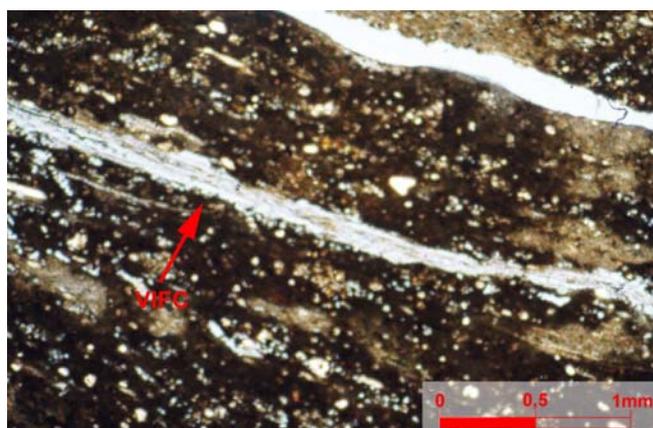


Foto 69 -: Passarela PB – UFPA Coberta. Grande vazio (fissura alongada), isolando fibra (VIFC: vazio interface fibra cimento). Polarizadores paralelos.

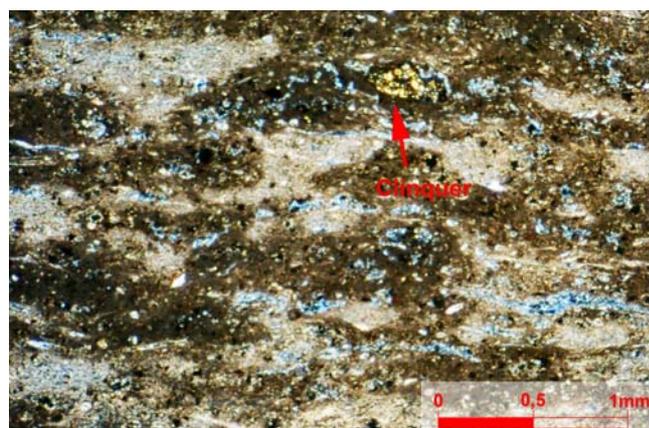


Foto 70 - Passarela PB – UFPA Coberta. Regiões muito ricas em vazios irregulares, apesar da telha não estar muito carbonatada. Polarizadores cruzados.

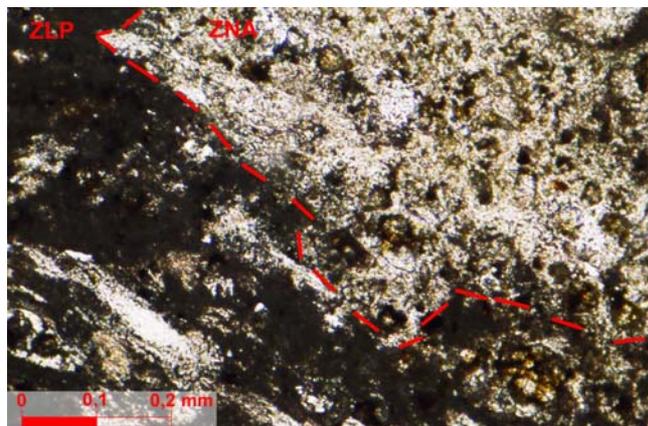


Foto 71 - Passarela PB – UFPA Descoberta. Interface entre porção não alterada (clara e birrefringente, composta por esqueletos de portlandita e enstatita) e porção pouco carbonatada (escura, micrítica e lixiviada). Polarizadores paralelos.

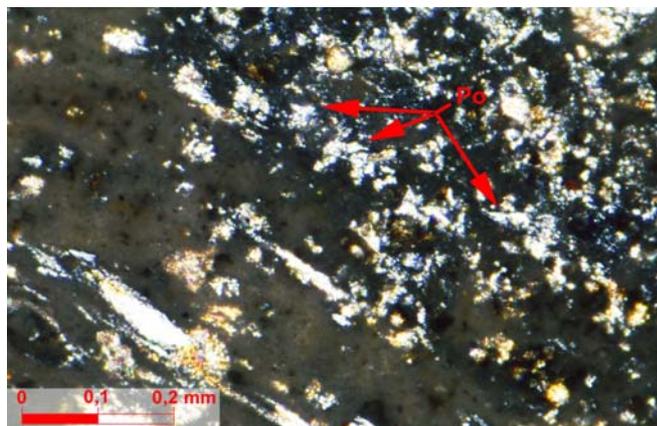


Foto 72 - Passarela PB – UFPA Descoberta. Interface entre porção não alterada (clara e birrefringente, composta por esqueletos de portlandita e enstatita) e porção pouco carbonatada (escura, micrítica e lixiviada). Polarizadores cruzados.

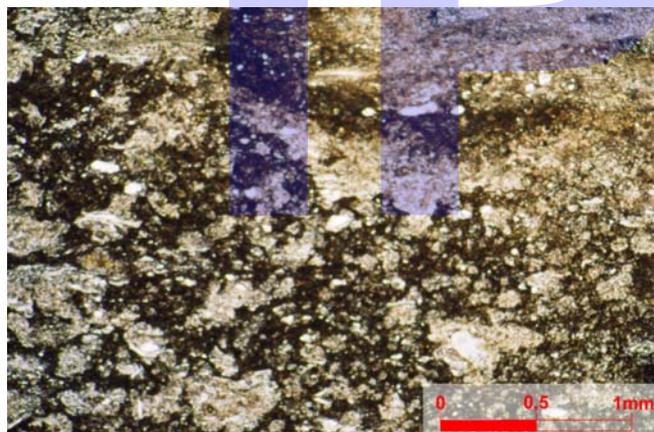


Foto 73 - QB – UFPA Descoberta. Interface entre zona carbonatada e zona micrítica com regiões não carbonatadas. A transição se dá pela cristalização de carbonato em aglomerados substituindo a pasta já lixiviada de portlandita. Polarizadores paralelos.

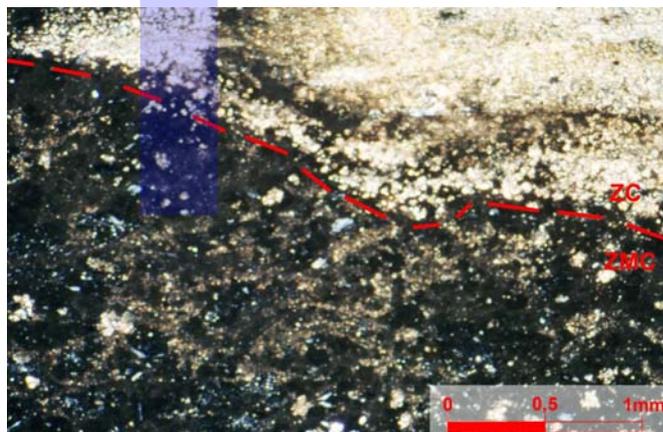


Foto 74 - QB – UFPA Descoberta. Interface entre zona carbonatada e zona micrítica com regiões não carbonatadas. A transição se dá pela cristalização de carbonato em aglomerados substituindo a pasta já lixiviada de portlandita. Polarizadores cruzados.

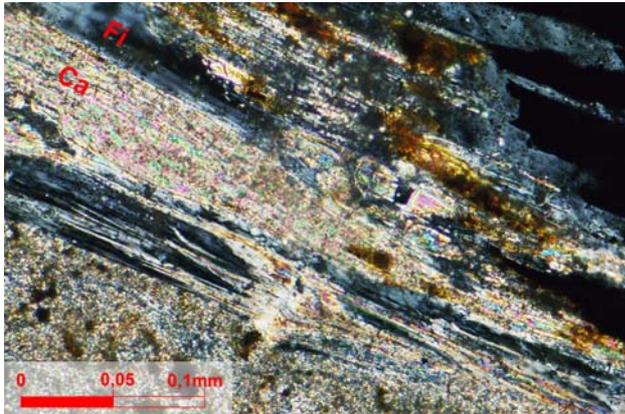


Foto 75 - LUSOTour Coberta. Carbonato mais grosso impregnado por fibra de crisotila. O carbonato apresenta hábito fibroso, possivelmente por crescer nas discontinuidades entre as fibrilas. Polarizadores cruzados.



Foto 76 - LUSOTour Coberta. Textura em greta da pasta na interface zona não alterada e zona carbonatada: contração por carbonatação? Secagem da telha? Polarizadores paralelos.

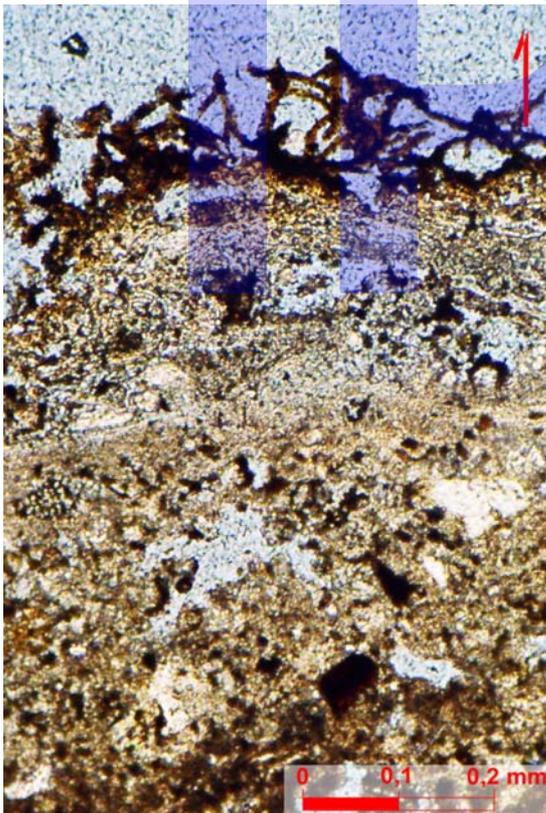


Foto 77 - Mercadoria - BB. Perfil de alteração do topo. Material biológico fibroso, zona de corrosão e pasta carbonatada porosa. Polarizadores paralelos.

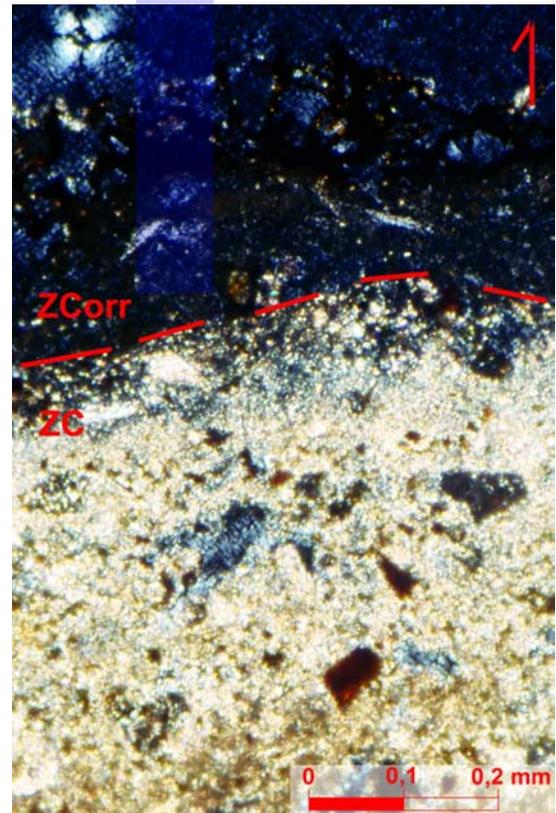


Foto 78 - Mercadoria - BB. Perfil de alteração do topo. Material biológico fibroso, zona de corrosão e pasta carbonatada porosa. Polarizadores cruzados.

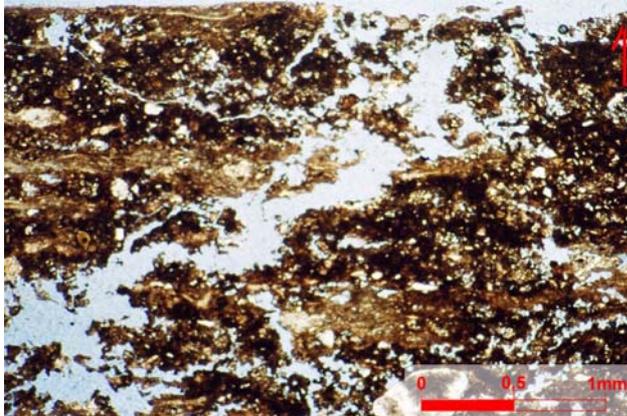


Foto 79 - Rodoviária Ctba Coberta. Vazios irregulares que evoluem para microfissuras. Notar que o desenvolvimento de porosidade abundante não tem necessariamente a premissa de uma carbonatação total da pasta. TOPO. Polarizadores paralelos.

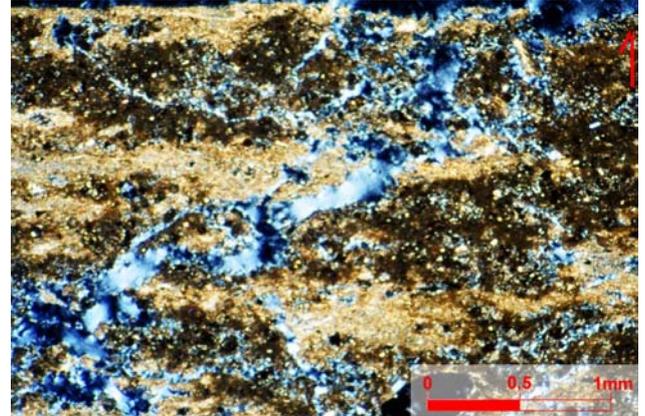


Foto 80 - Rodoviária Ctba Coberta. Vazios irregulares que evoluem para microfissuras. Notar que o desenvolvimento de porosidade abundante não tem necessariamente a premissa de uma carbonatação total da pasta. TOPO. Polarizadores cruzados.

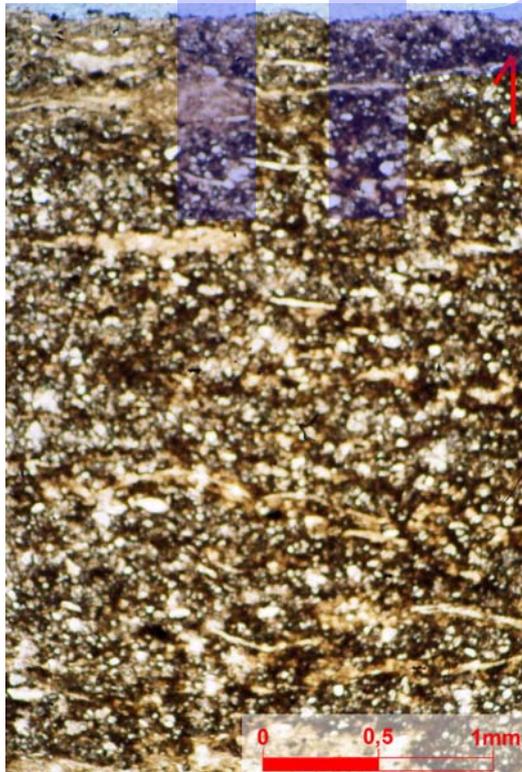


Foto 81 - Muller Descoberta. Perfil do topo: telha pouco carbonatada, superfície plana. Pequenas faixas microporosas. Polarizadores paralelos.

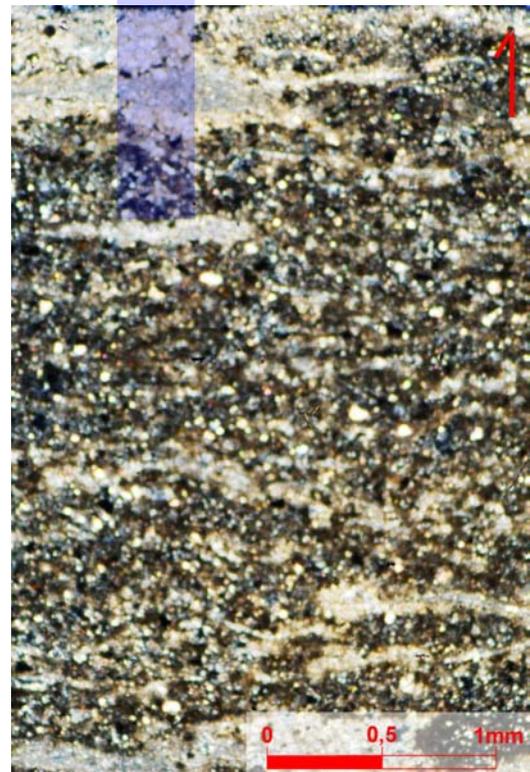


Foto 82 - Muller Descoberta. Perfil do topo: telha pouco carbonatada, superfície plana. Pequenas faixas microporosas. Polarizadores cruzados.

ANEXO C**Análise Mineralógica por difratometria de raios-X**

Tabela 1: Resultados da difração de raios-X.

Local Cidade Estado	Amostra	Local		Minerais
Flanaço Osasco SP	Am-1.1 Proact	Fuligem	E	Quartzo, magnetita, hematita, ilmenita, calcita, gipso, zircão, cristobalita/tridimita, mica.
	Am-1.2 Proact	Fuligem	E	Magnetita, hematita, calcita, quartzo, zircão, cristobalita/tridimita, feldspato, serpentina.
	Am-2 Gás	Fuligem	E	Quartzo, magnetita, hematita, ilmenita, gipso, cristobalita/tridimita, zircão, calcita, mica, serpentina/celulose (?)
	Am-3 Aciaria	Fuligem	E	Quartzo, magnetita, feldspato, serpentina/celulose (?), gipso, calcita, mica, hematita, ilmenita, zircão, cristobalita/tridimita (?).
	Am-4 Forjaria	Fuligem	E	Calcita, gipso, magnetita
		Fuligem	I	Quartzo, magnetita, calcita, gipso, feldspato, crisotila, caulinita, mica.
	Am-5.1 Eixos	Fuligem	E	Quartzo, calcita, magnetita, hematita, gipso, serpentina, mica, feldspato.
Am-5.2 Eixos	Fuligem	E	Quartzo, magnetita, hematita, gipso, serpentina, feldspato, calcita.	
Eternit Curitiba PR	Nova	Total		Calcita, serpentina, portlandita – (Ca(OH) ₂), gipso, talco, quartzo, piroxênio, silicatos anidros (α-Ca ₂ SiO ₂), silicatos hidratados, aluminato cálcico hidratado (C ₃ A.CaCO ₃ .2H ₂ O).
IPT São Paulo SP	IPT	-		-
Refeitório Eternit Rio de Janeiro RJ	Ondulada refeitório Coberta	Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), silicatos anidros (Ca ₃ SiO ₅), serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), gipso (CaSO ₄ .2H ₂ O), quartzo (SiO ₂), anfibólio, feldspato, mica, e óxido de ferro (magnetita).
	Ondulada refeitório Descoberta	Fuligem	E	Quartzo (SiO ₂), gipso (CaSO ₄ .2H ₂ O), serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), feldspato, caulinita, mica, calcita (CaCO ₃) e óxido de ferro (magnetita).
		Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), silicatos anidros (Ca ₃ SiO ₅), quartzo (SiO ₂), serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), feldspato, mica, gipso (CaSO ₄ .2H ₂ O), portlandita e óxido de ferro (magnetita).
	Cumeeira refeitório Coberta	Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), dolomita, quartzo (SiO ₂) e óxido de ferro (magnetita).
	Cumeeira refeitório Descoberta	Fuligem	E	Quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃) dolomita, feldspato, serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), mica, anfibólio e óxido de ferro (magnetita e ilmenita).
Total			Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), dolomita, quartzo (SiO ₂) e óxido de ferro (magnetita).	
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Crespum Coberta	Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), dolomita, serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂) e óxido de ferro (magnetita).
	Crespum Descoberta	Fuligem	E	Quartzo (SiO ₂), dolomita (CaMg(OH) ₂), calcita (CaCO ₃), serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), feldspato, mica, caulinita, silicato cálcico hidratado (CSH) e óxido de ferro (magnetita e ilmenita).
		Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), dolomita, serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂) e óxido de ferro (magnetita).

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Local	Minerais
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Saúde - RJ Coberta	Total	Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), silicatos anidros (Ca ₃ SiO ₅), caulinita, serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂) e óxido de ferro (magnetita e ilmenita).
	Saúde - RJ Descoberta	Fuligem	E Serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), feldspato e óxido de ferro (magnetita e ilmenita).
		Total	Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), caulinita, serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), portlandita, quartzo (SiO ₂) e óxido de ferro (magnetita e ilmenita).
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar 1 Hangar 2 Hangar 3	Total	Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), silicatos anidros (Ca ₃ SiO ₅), serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), celulose.
		HCl	Serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), óxido de ferro (magnetita), quartzo (SiO ₂) e celulose.
	Hangar 4 Hangar 5	Total	Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), silicatos anidros (Ca ₃ SiO ₅), serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), caulinita (Al ₄ (SiO ₁₀)(OH) ₃), quartzo (SiO ₂) portlandita (Ca(OH) ₂) e celulose.
		HCl	Serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), óxido de ferro (magnetita), quartzo (SiO ₂) e celulose.
	Hangar 6 Hangar 7	Total	Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), silicatos anidros (Ca ₃ SiO ₅), serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), caulinita (Al ₄ (SiO ₁₀)(OH) ₃), quartzo (SiO ₂) e celulose.
		HCl	Serpentina ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), óxido de ferro (magnetita), quartzo (SiO ₂) e celulose.
Fábrica Phebo Belém PA	Pavilhão Phebo Coberta	Total	Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), portlandita (Ca(OH) ₂), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), silicatos anidro (C ₂ S), quartzo (SiO ₂), mica e anfibólio.
	Pavilhão Phebo Descoberta	Fuligem	E Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), portlandita (Ca(OH) ₂), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), feldspato, silicatos anidro (C ₂ S), mica e anfibólio.
			I Quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), silicato cálcico hidratado (CSH), feldspato, dolomita, ilmenita e magnetita.
	Embalagens - Phebo	Total	Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂) e mica.
		Fuligem	E Crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), ilmenita e magnetita.
	I Vevelita/vedelita (C ₂ CaO ₄ .H ₂ O), anfibólio, quartzo e mica.		
	Embalagens - Phebo Coberta	Total	Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), anfibólio, aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), quartzo (SiO ₂) e mica.
	Embalagens - Phebo Descoberta	Total	Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), anfibólio e quartzo (SiO ₂).
		Fuligem	E Crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃), ilmenita e magnetita.
	I Vevelita/vedelita (C ₂ CaO ₄ .H ₂ O), anfibólio, quartzo e mica.		

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Local		Minerais
UFPA Belém PA	Passarela PB - UFPA Coberta	Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), anfibólio e quartzo (SiO ₂).
	Passarela PB - UFPA Descoberta	Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), anfibólio e quartzo (SiO ₂).
		Fuligem	E	Crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃), ilmenita e magnetita.
	PB – P1 - UFPA	Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), e quartzo (SiO ₂).
		Fuligem	E	Crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), hematita, ilmenita e magnetita.
	QB - UFPA Coberta	Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), anfibólio, aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), e quartzo (SiO ₂).
	QB – UFPA Descoberta	Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), anfibólio e quartzo (SiO ₂).
Fuligem		E	Crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), mica, hematita e magnetita.	
QB – UFPA Quebrada	Total		Calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), e anfibólio.	
LUSO Tour Belém PA	LUSO Tour Coberta	Total		Silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO ₃), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), silicatos anidro (C ₂ S e C ₃ S), anfibólio, quartzo (SiO ₂), e feldspato.
	LUSO Tour Descoberta	Total		Silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO ₃), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), silicatos anidro (C ₂ S e C ₃ S), anfibólio, quartzo (SiO ₂), e feldspato.
Fuligem		E	Crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂), rutilo, dolomita, calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), ilmenita e magnetita.	
DF impermeabili- zantes Belém PA	Galpão - DF	Total		Silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO ₃), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), silicatos anidro (C ₂ S e C ₃ S), anfibólio e quartzo (SiO ₂).
		Fuligem	E	Crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), ilmenita e magnetita.
			I	Calcita (CaCO ₃), quartzo (SiO ₂), gipso e feldspato.
Banco do Brasil Belém PA	Mercadoria - BB	Total		Silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO ₃), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), quartzo (SiO ₂) e anfibólio.
		Fuligem	E	Crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), quartzo (SiO ₂), calcita (CaCO ₃), silicato cálcico hidratado (CSH), aluminatos de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), ilmenita, hematita e magnetita.
	Depósito - BB	Total		Silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO ₃), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), portlandita (Ca(OH) ₂), silicatos anidro (C ₂ S e C ₃ S), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), quartzo (SiO ₂) e anfibólio.
Rodoviária Curitiba PR	Rodoviária Ctba Coberta	Fuligem	E	Calcita (CaCO ₃), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), gipso (CaSO ₄ .2H ₂ O), silicato cálcico hidratado (CSH), silicatos anidro (C ₂ S e C ₃ S), feldspato e quartzo (SiO ₂).
	Rodoviária Ctba Descoberta	Total		Silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO ₃), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), portlandita (Ca(OH) ₂), silicatos anidro (C ₂ S e C ₃ S), aluminato de cálcio hidratado (C ₄ AH ₁₃), anfibólio, quartzo (SiO ₂) e rutilo.
		Fuligem	E	Rutilo (TiO ₂), quartzo (SiO ₂), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), calcita (CaCO ₃), feldspato e dolomita

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Amostra	Local		Minerais
Secretaria de Saúde Curitiba PR	Saúde Ctba	Total		Silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO ₃), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), silicatos anidro (C ₂ S e C ₃ S), anfibólio e quartzo (SiO ₂).
		Fuligem	E	Dolomita, talco, rutilo (TiO ₂), calcita (CaCO ₃), clorita, crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), goethita, mica e quartzo (SiO ₂)
Shopping Muller Curitiba PR	Muller Descoberta	Total		Silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO ₃), silicatos anidro (C ₂ S e C ₃ S), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), anfibólio e quartzo (SiO ₂).
		Fuligem	E	Gipso (CaSO ₄ .2H ₂ O), crisotila ((Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄), silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO ₃) e quartzo (SiO ₂)

IPT

ANEXOS D

Microscopia eletrônica de varredura com
espectroscopia de energia dispersiva

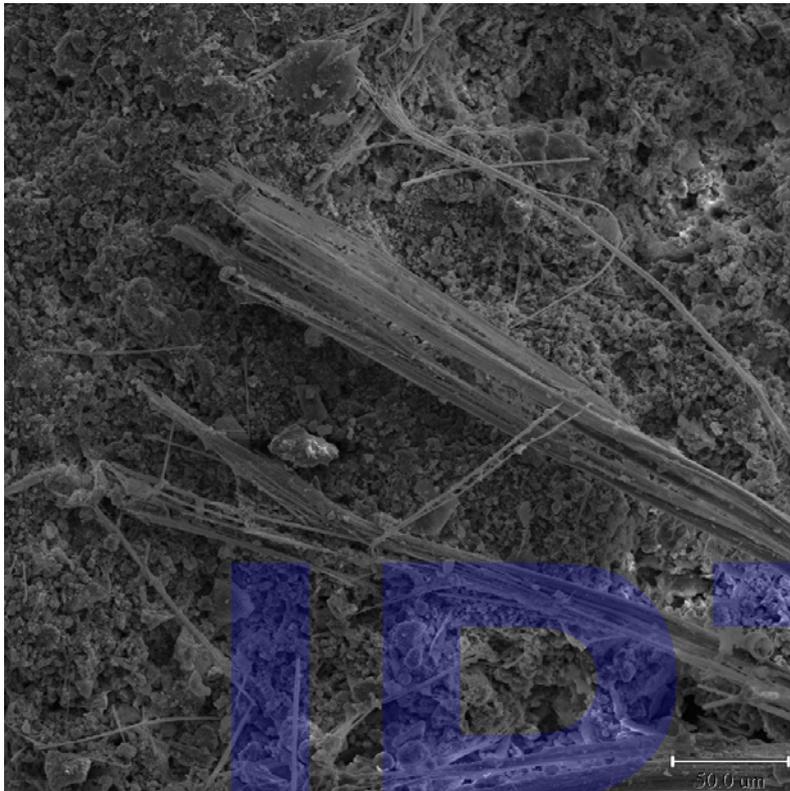


Foto 1 – Am-4 – Forjaria.
Agregado de fibrilas na superfície da telha. Notar que as fibras apresentam pouca aderência à matriz, tornando-se susceptíveis a se soltar.

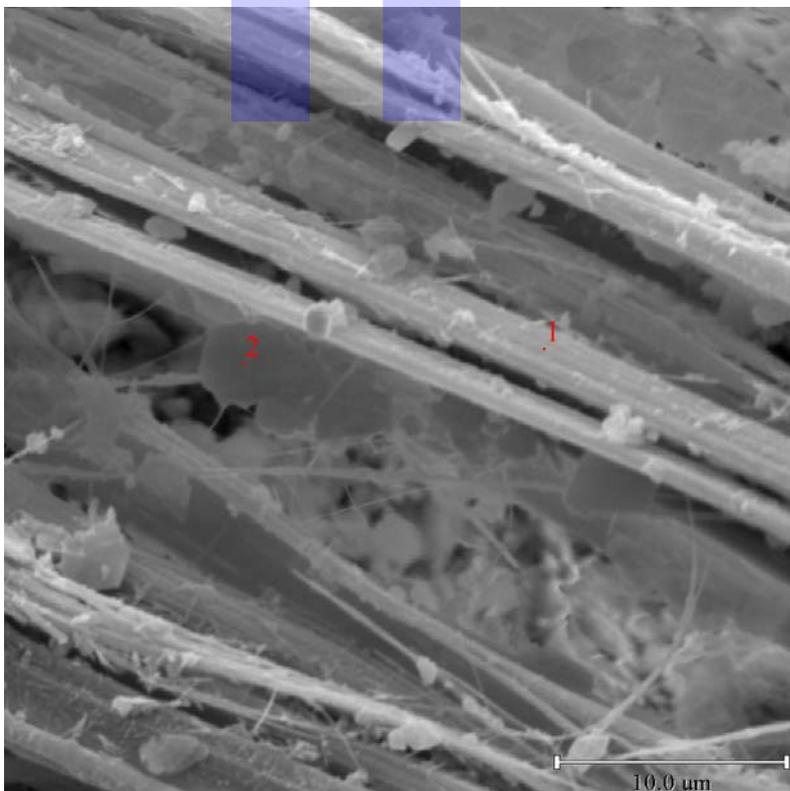


Foto 2 – Am-4 – Forjaria.
Localização dos pontos (1 e 2) de análise por EDS - feixe de fibrilas (3500x).

Tabela 1 - Am-4 – Forjaria. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 1 - feixe de fribilas de crisotila com provável contaminação de enxofre e ferro.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem atômica	Porcentagem em massa
O	Kα	65.431	49.443
Mg	Kα	7.464	8.568
Al	Kα	0.660	0.841
Si	Kα	15.806	20.967
S	Kα	4.249	6.434
Ca	Kα	4.174	7.901
Fe	Kα	2.217	5.847
Total		100	100
kV	15.0		
Takeoff Angle	35.7°		

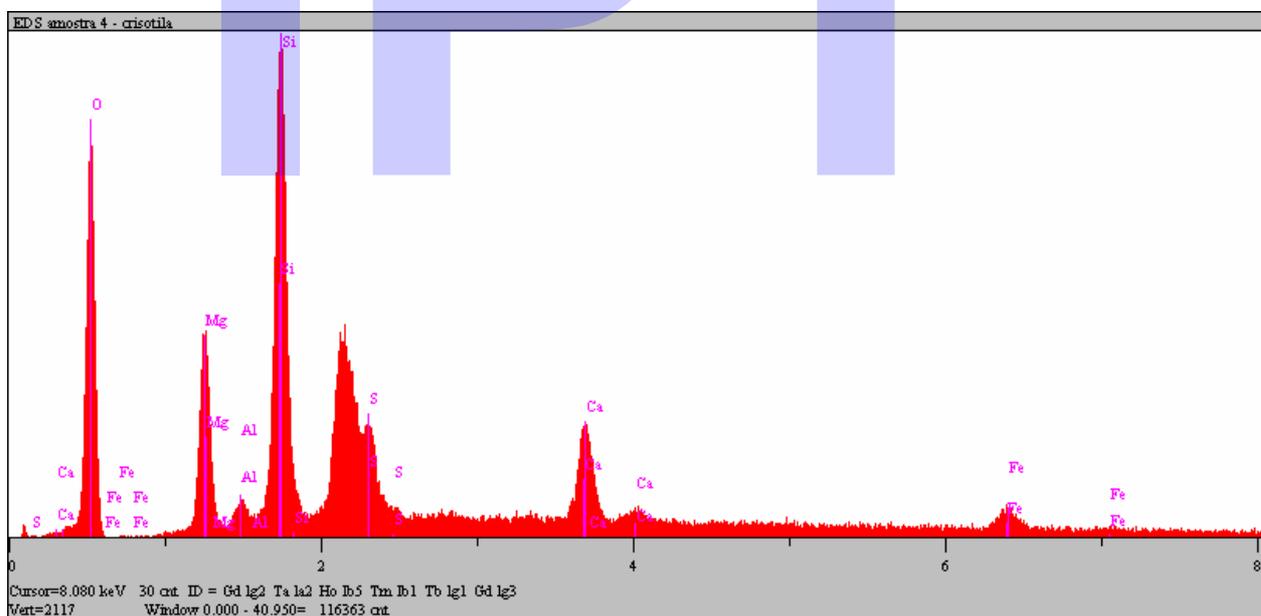


Figura 1 - Am-4 – Forjaria. Espectro obtido por EDS do ponto 1 para a crisotila.

Tabela 2 - Am-4 – Forjaria. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 2 – provável grão de gipso.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem atômica	Porcentagem em massa
O	K α	59.132	39.769
Mg	K α	2.139	2.185
Al	K α	0.581	0.659
Si	K α	5.501	6.495
S	K α	13.820	18.629
Ca	K α	18.003	30.330
Fe	K α	0.824	1.933
Total		100	100
kV	15.0		
Takeoff Angle	35.7°		

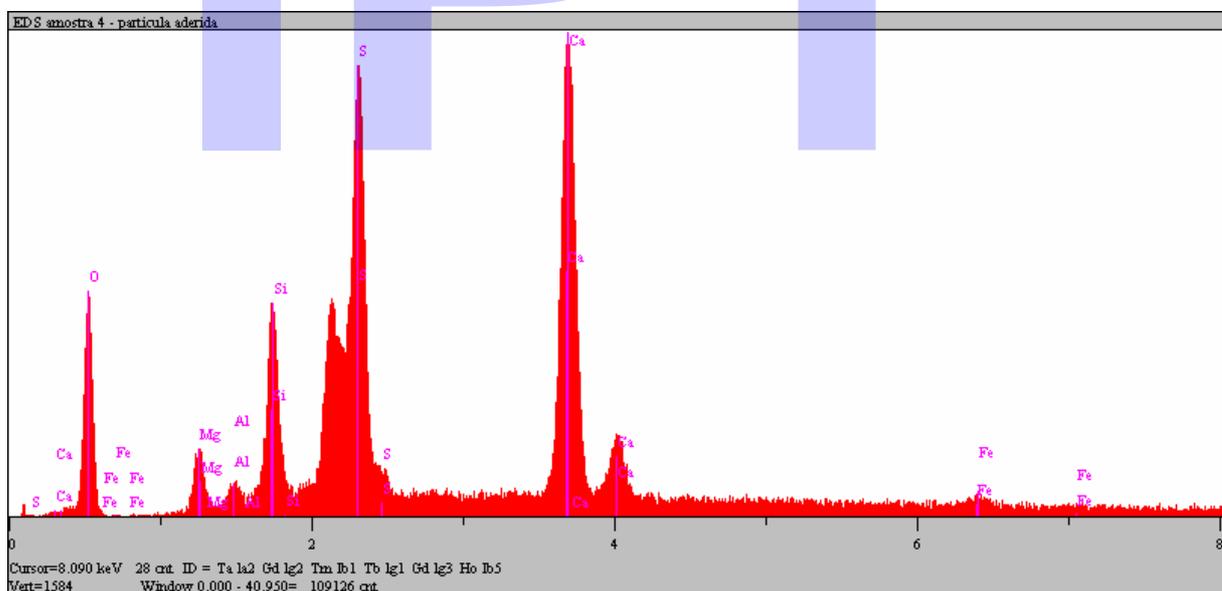


Figura 2 - Am-4 – Forjaria. Espectro obtido por EDS do ponto 2 para o gipso.

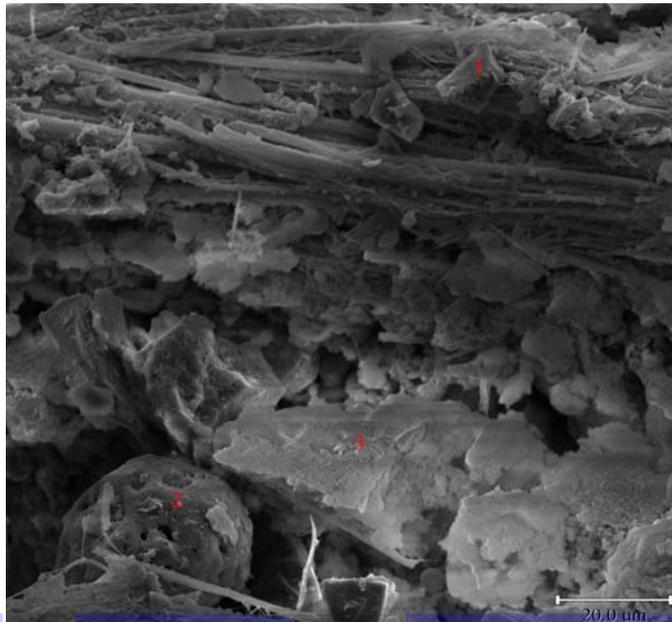


Foto 3 – Am-4 – Forjaria. Localização dos pontos de análise por EDS – região central (1000x).

Tabela 3 - Am-4 – Forjaria. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 1 – grão de quartzo.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem atômica	Porcentagem em massa
O	Kα	68.130	54.932
Al	Kα	0.694	0.943
Si	Kα	31.176	44.125
Total		100	100
kV	15.0		
Takeoff Angle	35.7°		

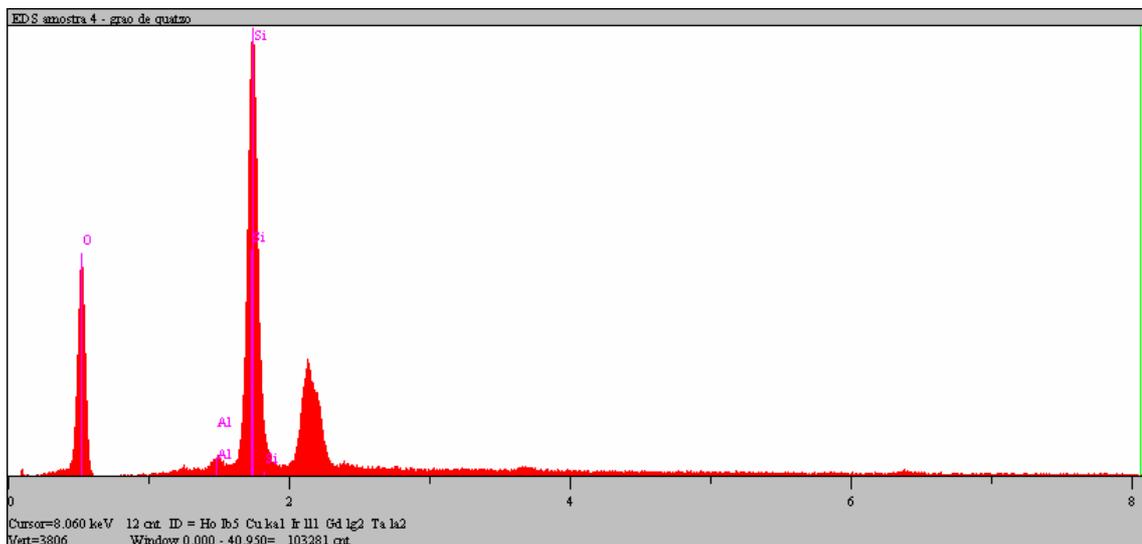


Figura 3 - Am-4 – Forjaria. Espectro obtido por EDS do ponto 1 para o quartzo.

Tabela 4 – Am-4 – Forjaria. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 2 – provável belita com contaminação de enxofre.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem atômica	Porcentagem em massa
O	K α	62.618	44.570
Mg	K α	0.648	0.700
Al	K α	3.129	3.755
Si	K α	11.142	13.922
S	K α	14.534	20.734
K	K α	0.722	1.256
Ca	K α	4.054	7.229
Fe	K α	3.154	7.835
Total		100	100
kV	15.0		
Takeoff Angle	35.7°		

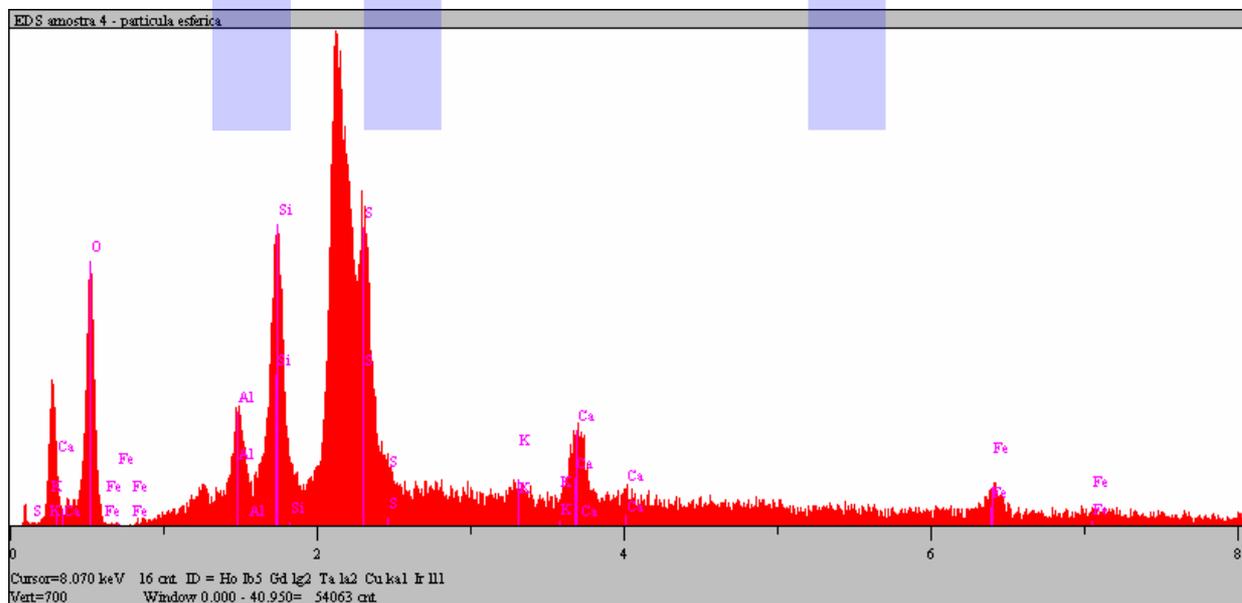


Figura 4 - Am-4 – Forjaria. Espectro obtido por EDS do ponto 2 para a belita.

Tabela 5 – Am-4 – Forjaria. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 3 – provável silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

Elemento Químico	Raia	Porcentagem atômica	Porcentagem em massa
O	Kα	67.069	50.491
Mg	Kα	0.562	0.642
Al	Kα	2.323	2.949
Si	Kα	22.323	29.500
K	Kα	0.386	0.710
Ca	Kα	4.815	9.080
Fe	Kα	2.522	6.628
Total		100	100
kV	15.0		
Takeoff Angle	35.7°		

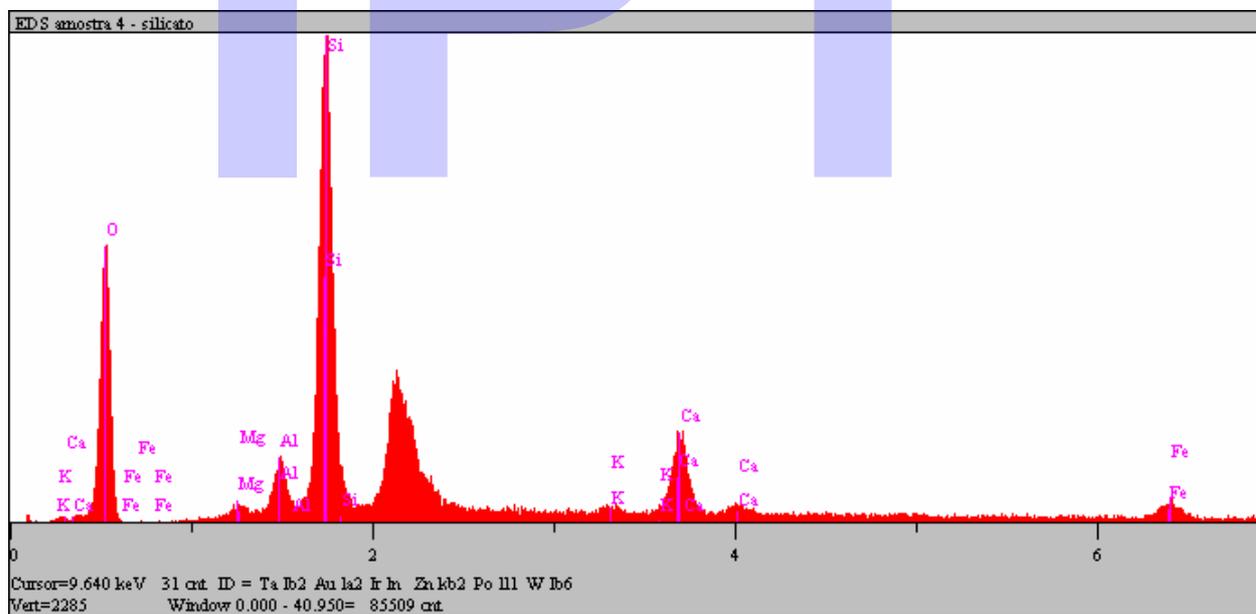


Figura 5 - Am-4 – Forjaria. Espectro obtido por EDS do ponto 3 para o C.S.H..

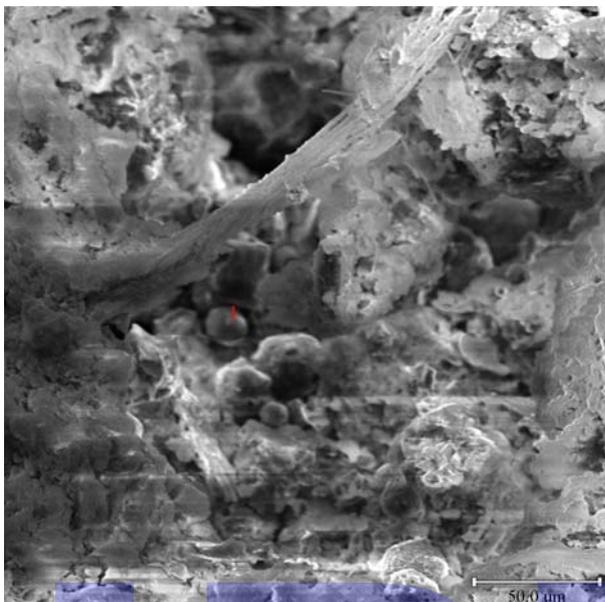


Foto 4 – Am-4 – Forjaria. Localização do ponto de análise por EDS – região porosa (500x).

Tabela 6 – Am-4 – Forjaria. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 1 – provável magnetita.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem atômica	Porcentagem em massa
O	Kα	15.024	5.073
Mg	Kα	0.455	0.233
Al	Kα	0.624	0.355
Si	Kα	7.144	4.235
Ca	Kα	1.091	0.923
Fe	Kα	75.663	89.181
Total		100	100
kV	15.0		
Takeoff Angle	35.7°		

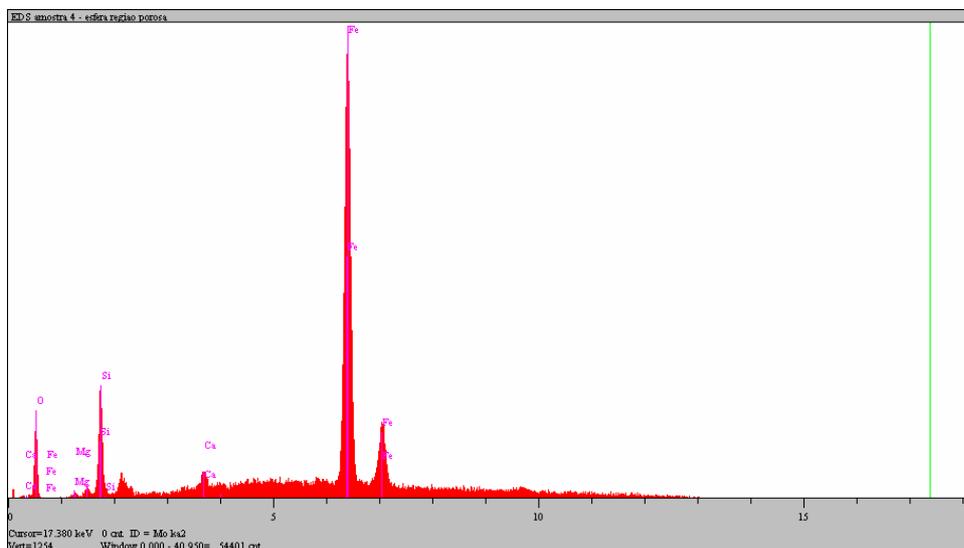


Figura 6 - Am-4 – Forjaria. Espectro obtido por EDS do ponto 1 para a magnetita.

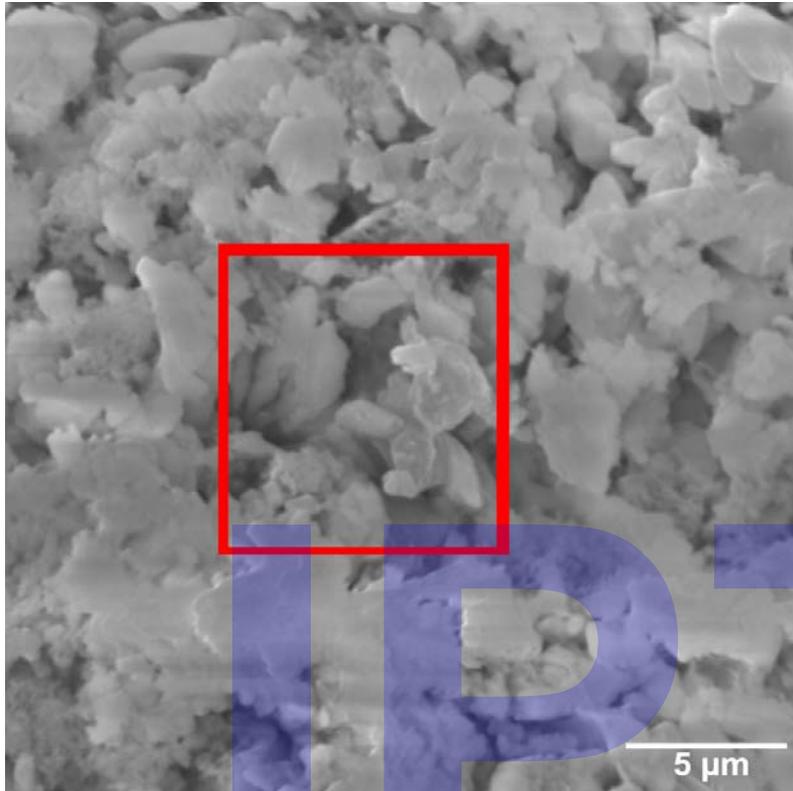


Foto 5 – Am-5.1 Eixos.
Agregado de plaquetas hexagonais de gipso e calcita na superfície da telha. Em destaque o local da FOTO 6

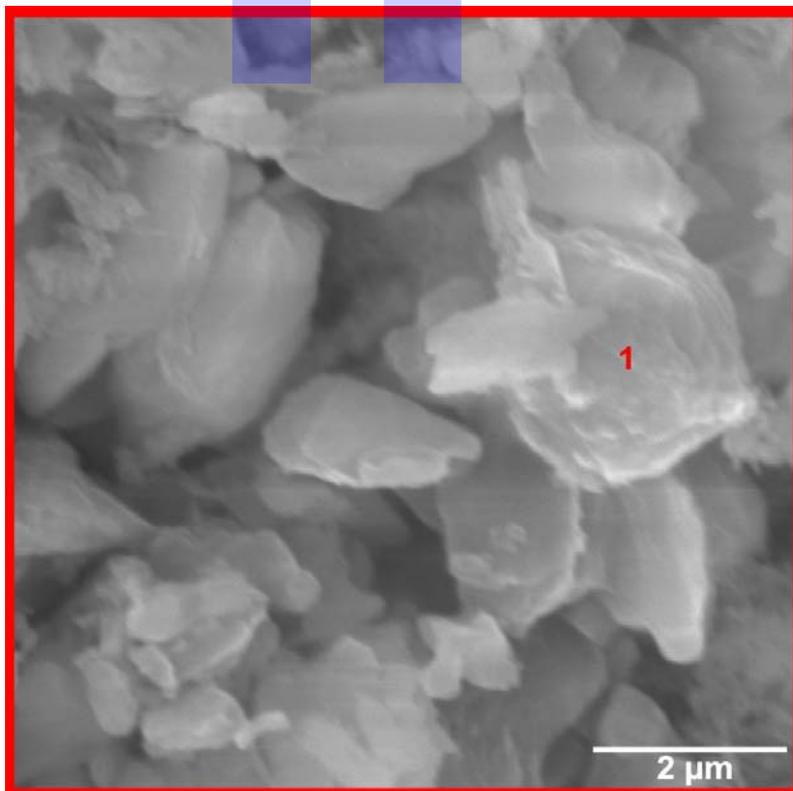


Foto 6 – Am-5.1 Eixos.
Localização do ponto 1, analisado por EDS.

Tabela 7 - Am-5.1 Eixos. Análise semi-quantitativa EDS – plaquetas de gipso e carbonato.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	20,454
O	K α	39,127
Mg	K α	0,432
Al	K α	0,290
Si	K α	1,028
S	K α	14,854
Ca	K α	23,814
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

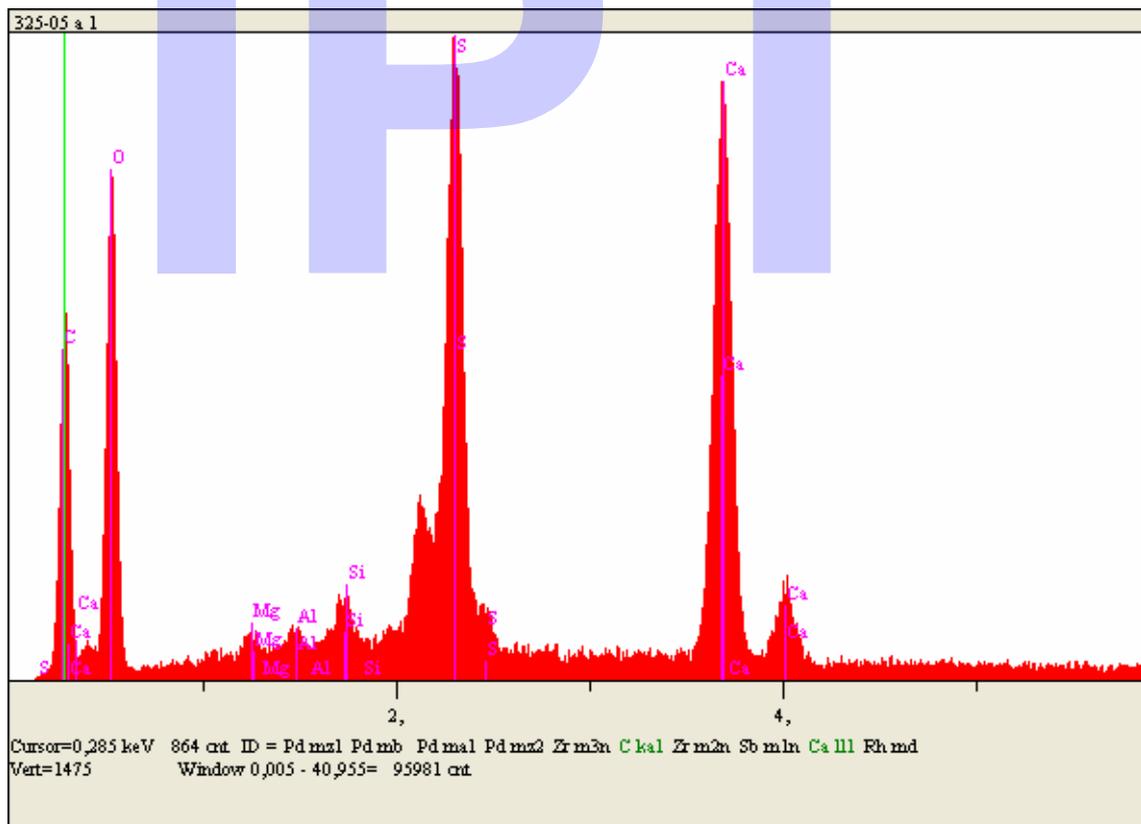


Figura 7 - Am-5.1 Eixos. Espectro obtido por EDS do ponto 1.

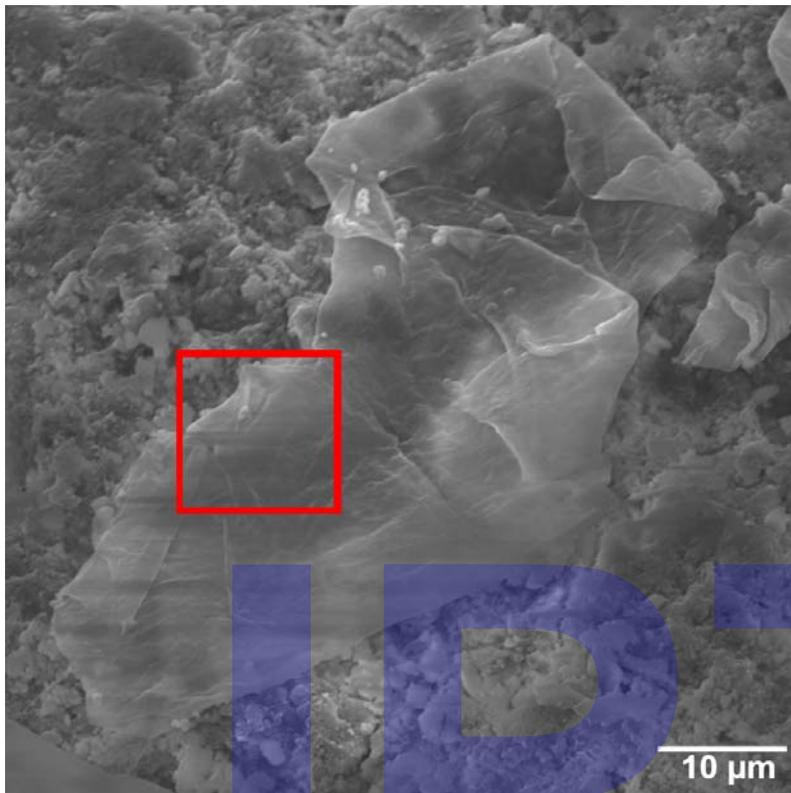


Foto 7 – Am-5.1 Eixos. Placa com faces retas na superfície da telha. Em destaque o local da FOTO 8.

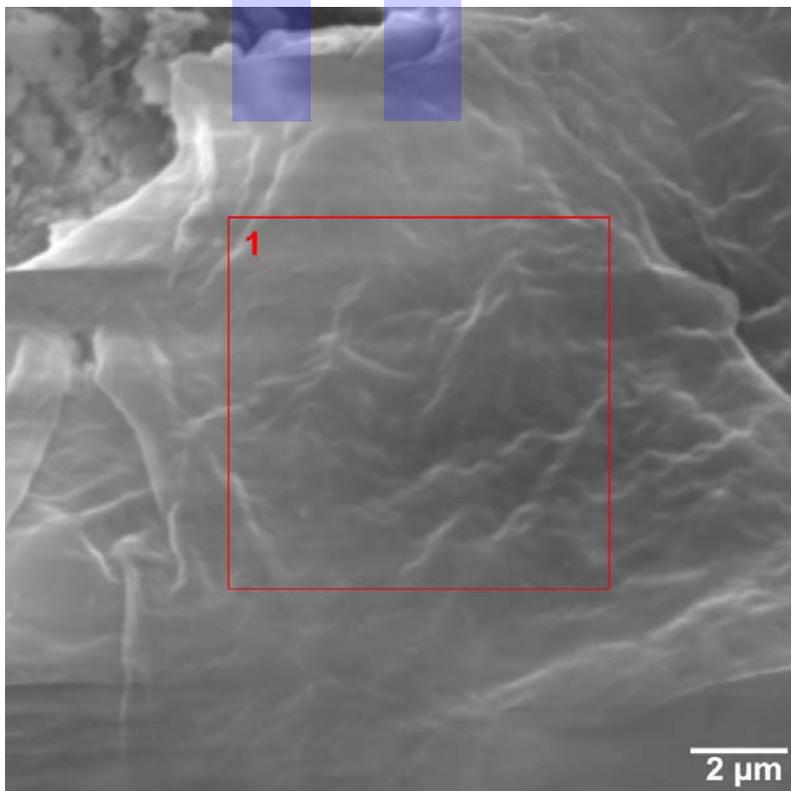


Foto 8 – Am-5.1 Eixos. Localização da área 1, analisada por EDS.

Tabela 8 - Am-5.1 Eixos. Análise semi-quantitativa EDS – placa hexagonal.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	30,508
N	K α	11,425
O	K α	23,072
Na	K α	0,593
Mg	K α	0,218
Al	K α	2,886
Si	K α	10,134
S	K α	7,060
Cl	K α	0,536
K	K α	3,000
Ca	K α	10,568
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

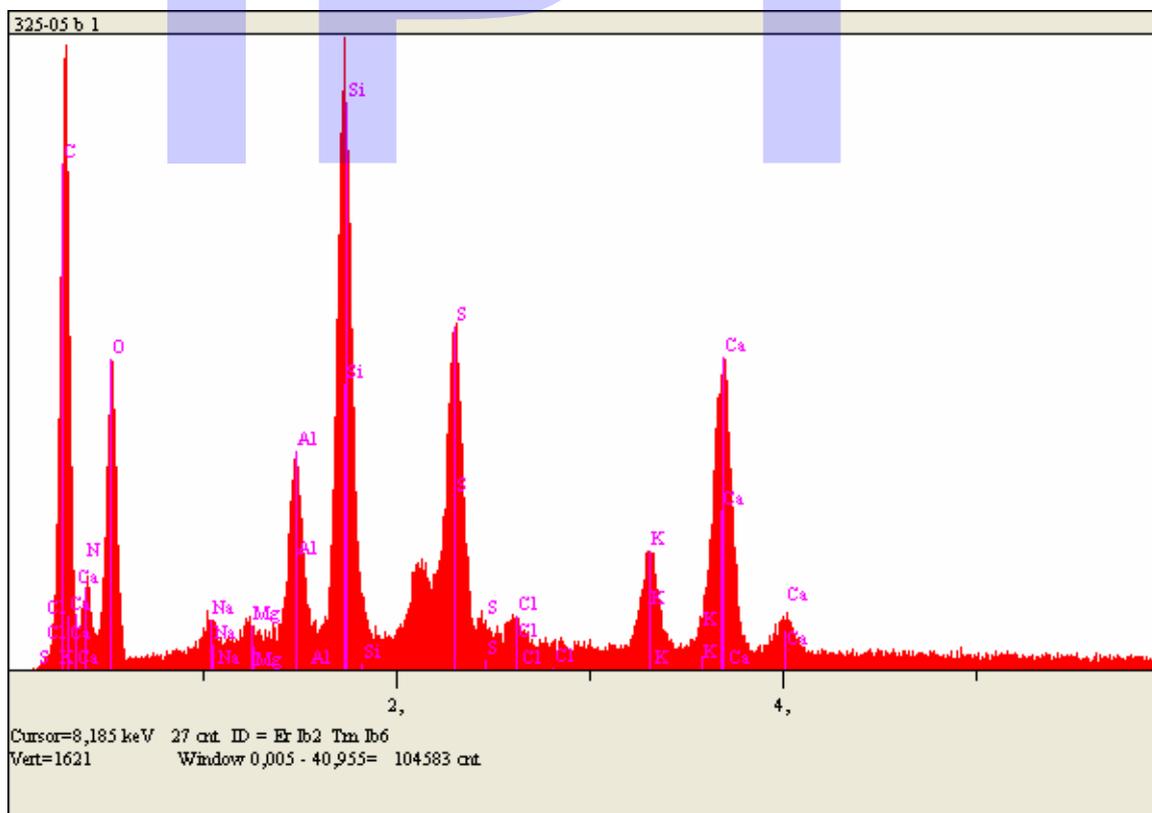


Figura 8 - Am-5.1 Eixos. Espectro obtido por EDS da área 1.

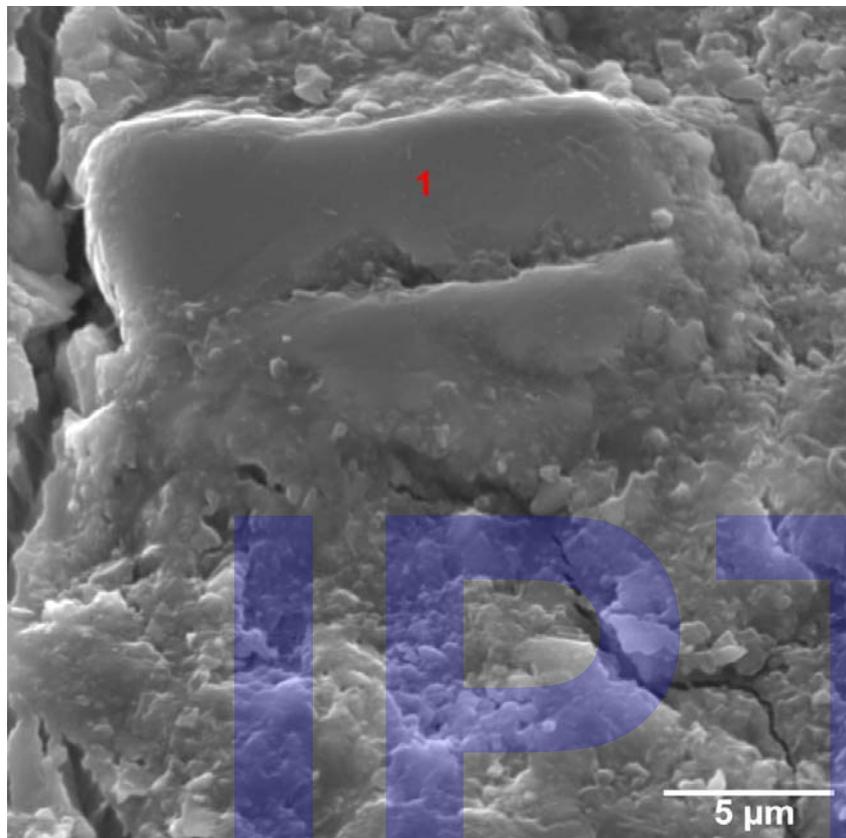


Foto 9 – Am-5.1 Eixos.
Provável sílica gelatinizada da
zona de corrosão. Greta no
canto esquerdo e no canto
direito inferior.

Tabela 9 - Am-5.1 Eixos. Análise semi-quantitativa EDS – provável sílica gelatinizada da zona de corrosão.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	27,101
O	K α	2,415
Si	K α	70,484
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

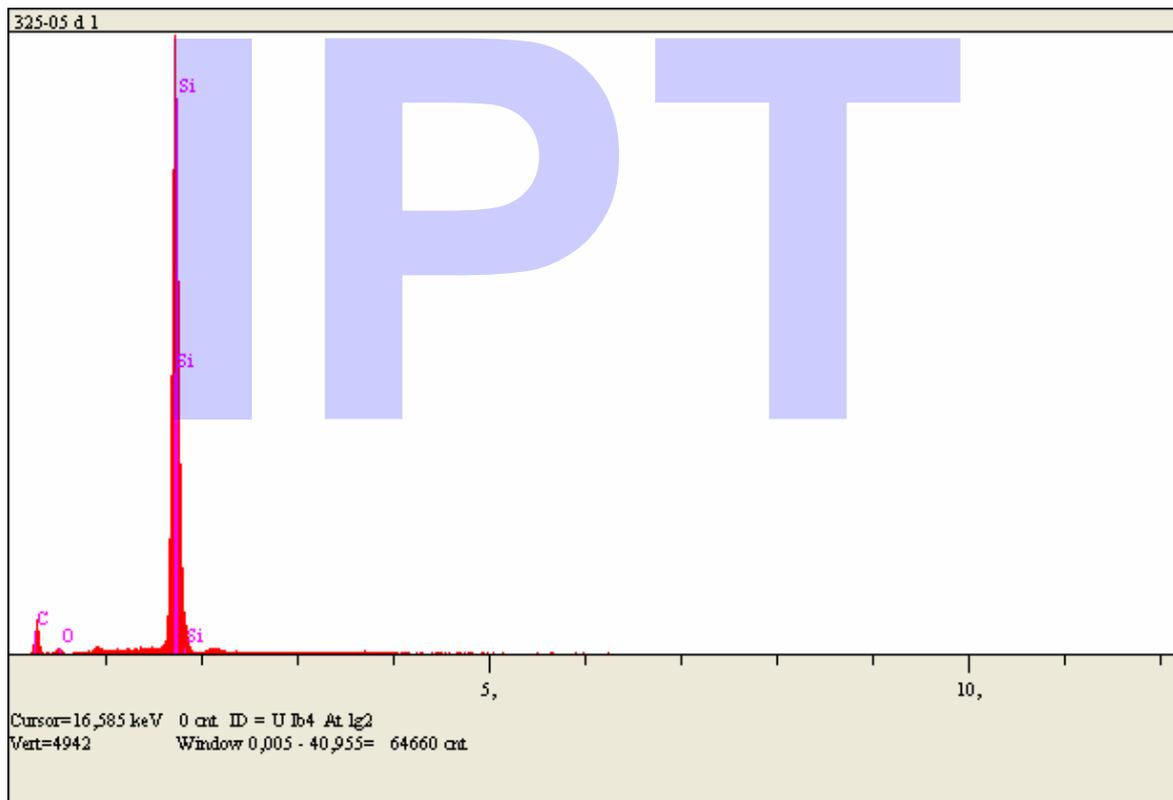
**Figura 9** - Am-5.1 Eixos. Espectro obtido por EDS do ponto 1.



Foto 10 – Nova. Vista geral (35x). Notar “estratificação” na telha, evidenciada por diferentes texturas entre as camadas.

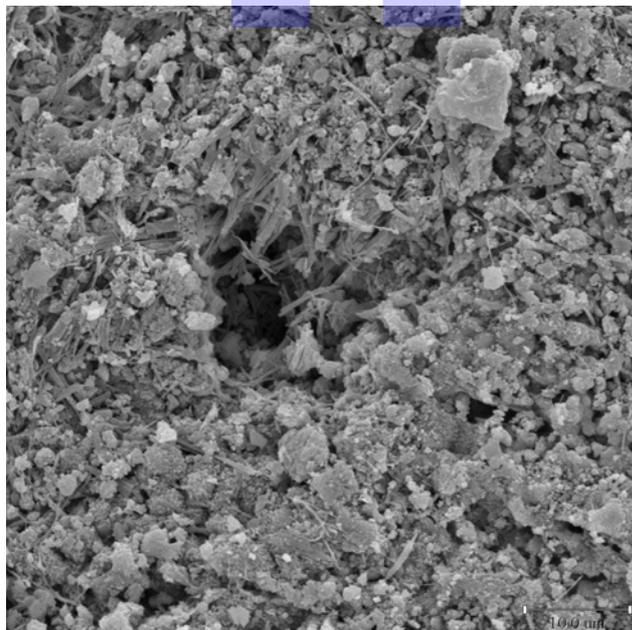


Foto 11 – Nova. Detalhe camada rugosa (2000x).

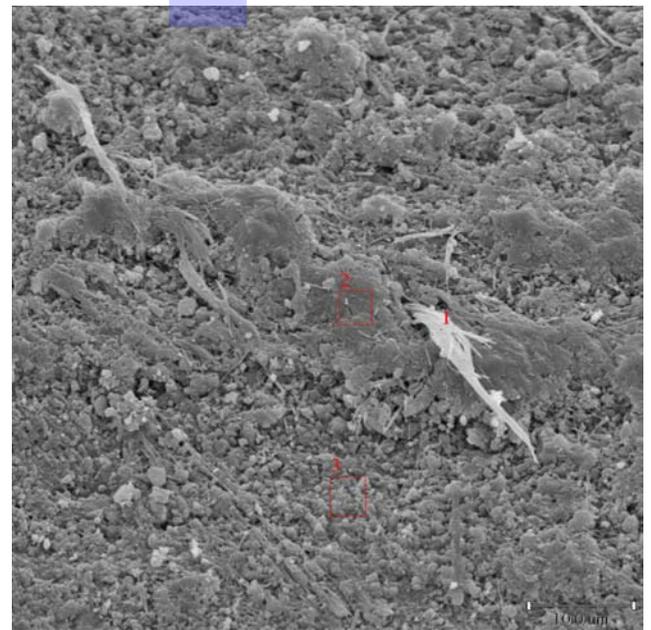


Foto 12 – Nova. Localização da área e pontos de análise por EDS – camada lisa (2000x).

Tabela 10 – Nova. Análise semi-quantitativa do ponto 1 – provável fibrila de crisotila.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem atômica	Porcentagem em massa
O	Kα	70.420	52.396
Mg	Kα	3.450	3.899
Al	Kα	0.747	0.938
Si	Kα	0.083	10.558
K	Kα	0.774	1.408
Ca	Kα	16.526	30.802
Total		100	100
kV	15.0		
Takeoff Angle	35.7°		

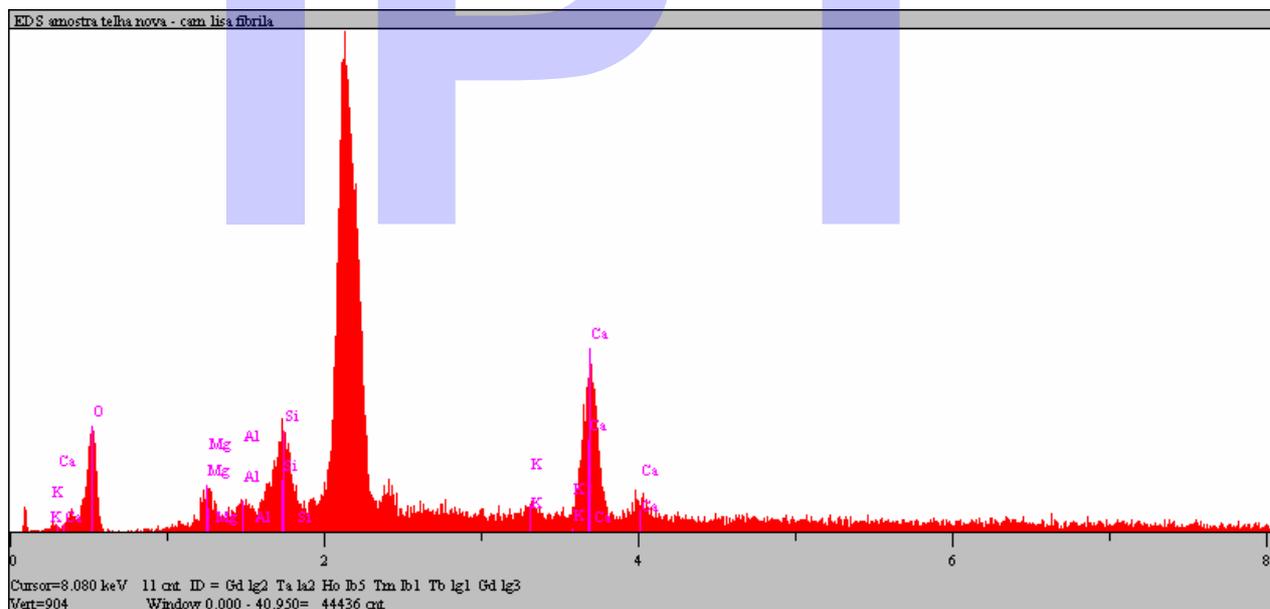


Figura 10 - Nova. Espectro obtido por EDS do ponto 1 para a crisotila.

Tabela 11 – Nova. Análise semi-quantitativa do ponto 2 – provável portlandita.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem atômica	Porcentagem em massa
O	K α	64.676	44.170
Mg	K α	1.404	1.457
Al	K α	1.288	1.484
Si	K α	5.653	6.777
K	K α	0.973	1.624
Ca	K α	26.005	44.489
Total		100	100
kV	15.0		
Takeoff Angle	35.7°		

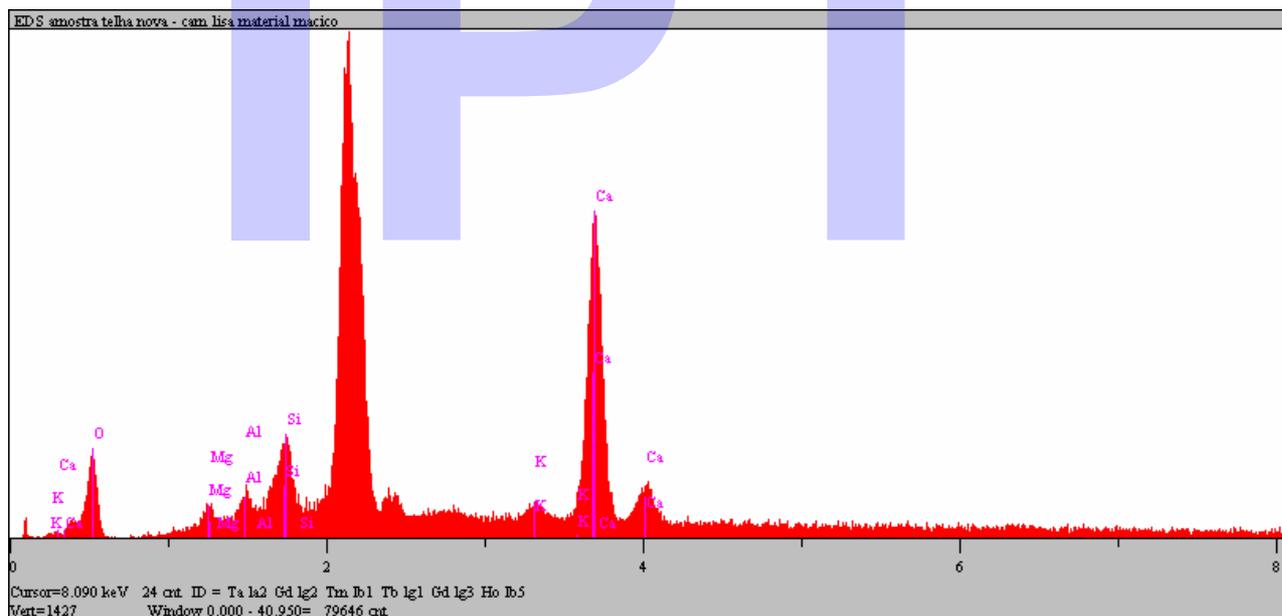


Figura 11 - Nova. Espectro obtido por EDS do ponto 2 para portlandita.

Tabela 12 – Nova. Análise semi-quantitativa do ponto 3 – provável portlandita.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem atômica	Porcentagem em massa
O	K α	71.167	50.938
Mg	K α	0.700	0.761
Al	K α	0.534	0.645
Si	K α	3.353	4.213
K	K α	0.641	1.121
Ca	K α	23.605	42.322
Total		100	100
kV	15.0		
Takeoff Angle	35.7°		

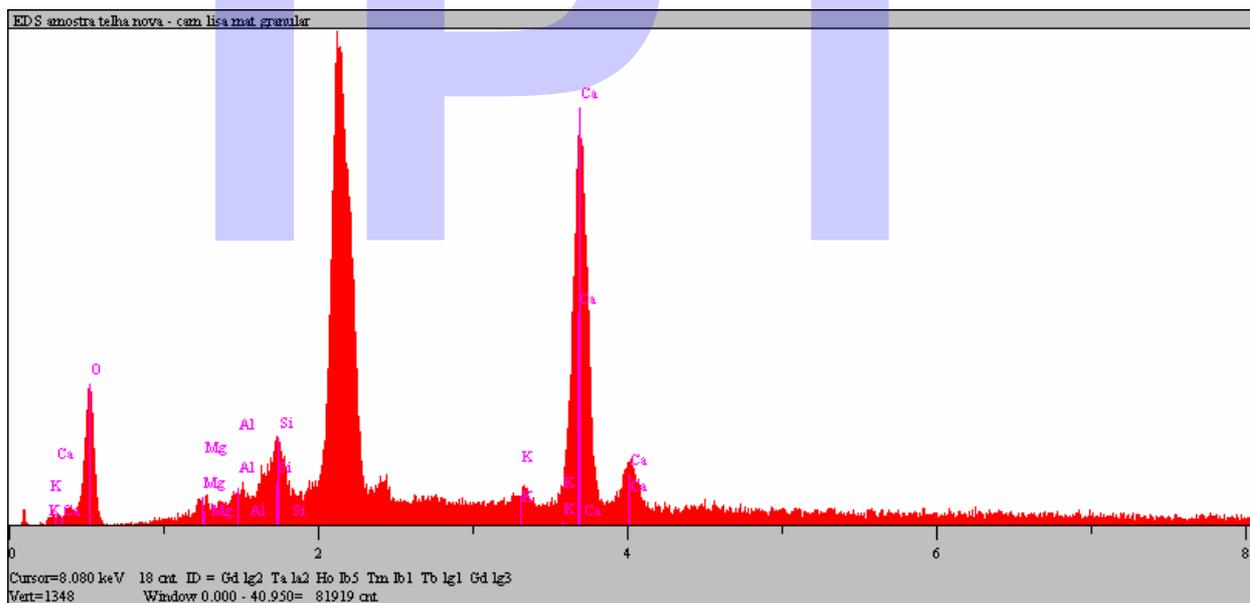


Figura 12 - Nova. Espectro obtido por EDS do ponto 3 para calcita ±. Portlandita.

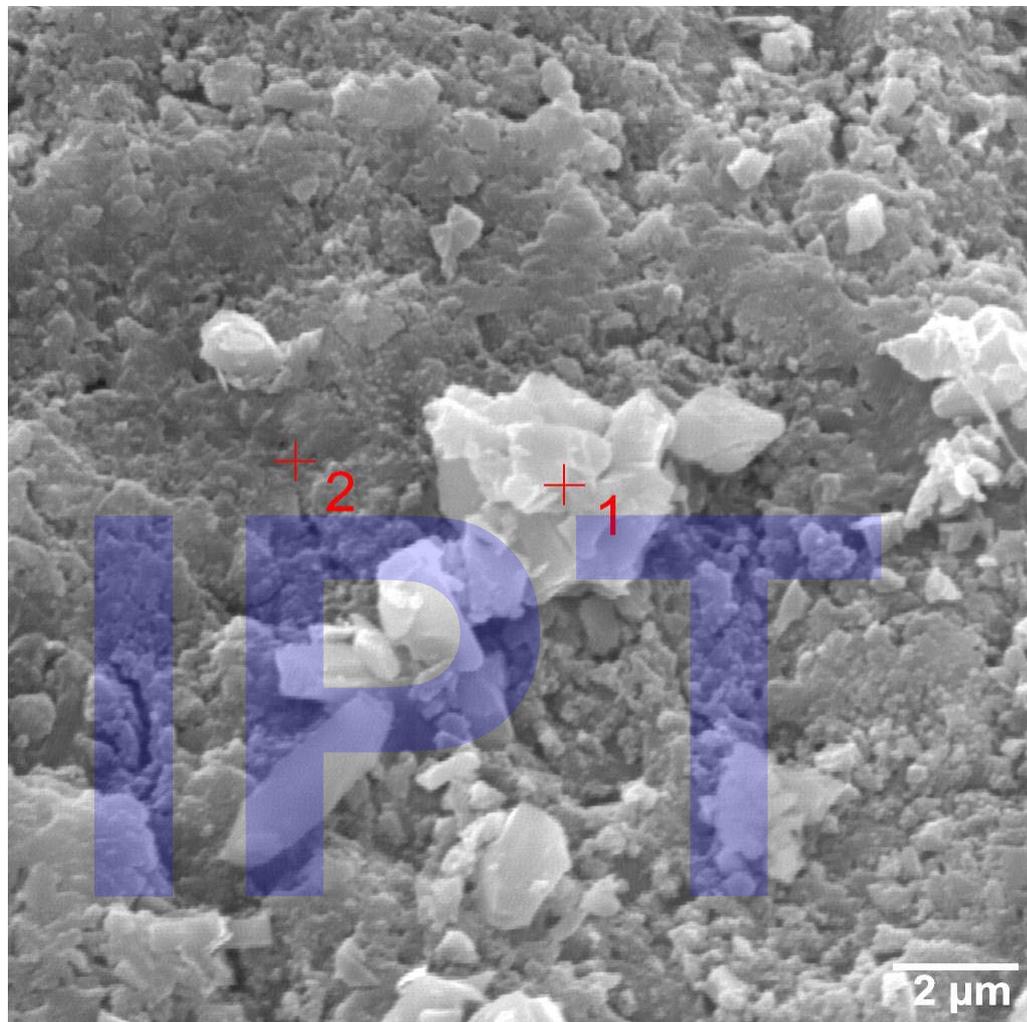


Foto 13 – Ondulada refeitório Descoberta. Localização dos pontos de análise por EDS.

Tabela 13 - Ondulada refeitório Descoberta. Análise semi-quantitativa por EDS do ponto 1 – Possível grão de quartzo.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
O	K α	46,030
Na	K α	3,844
Mg	K α	1,595
Al	K α	1,880
Si	K α	38,658
Ca	K α	7,993
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

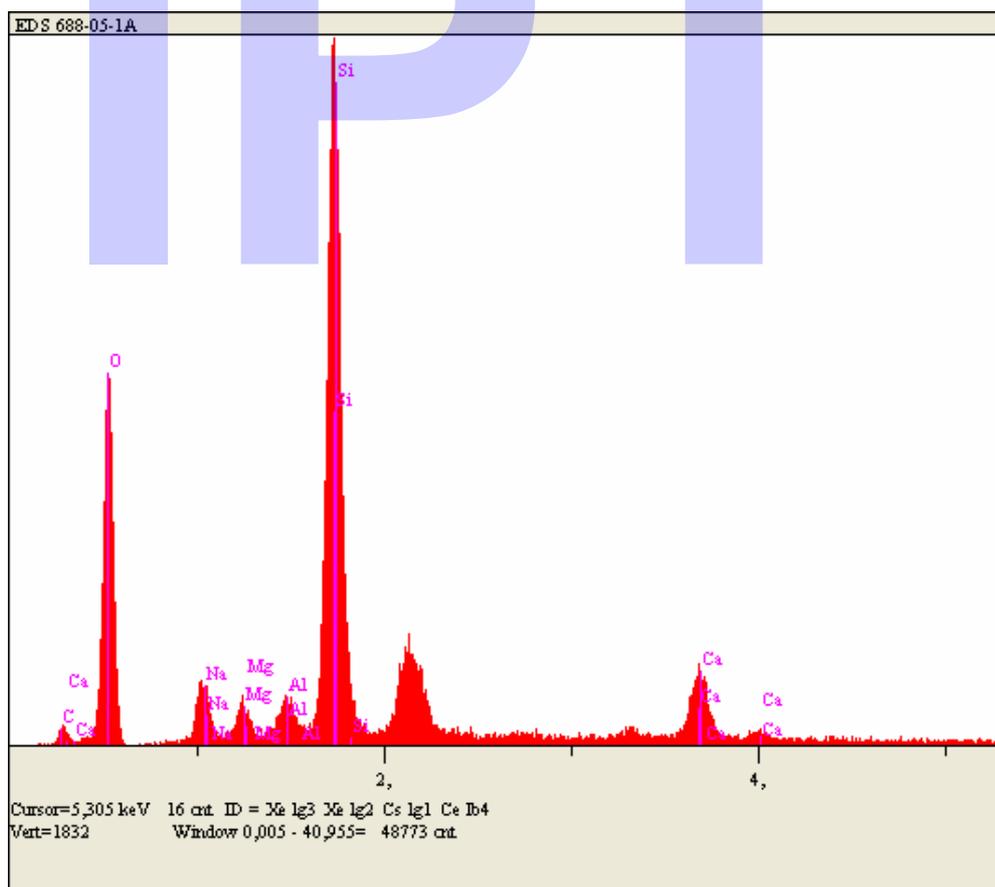


Figura 13 - Ondulada refeitório Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto 1.

Tabela 14 - Ondulada refeitório Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 2 – possível sílica.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	0,000
O	K α	35,740
Na	K α	0,307
Mg	K α	0,982
Al	K α	4,347
Si	K α	49,213
Ca	K α	9,410
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

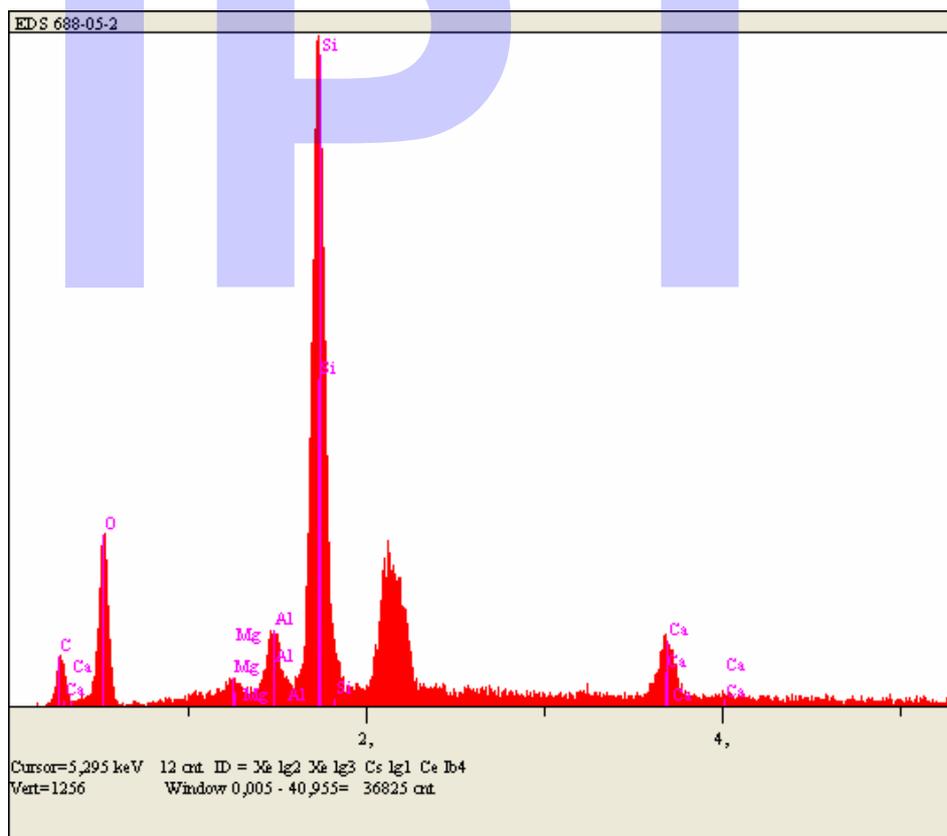


Figura 14 - Ondulada refeitório Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto 2.

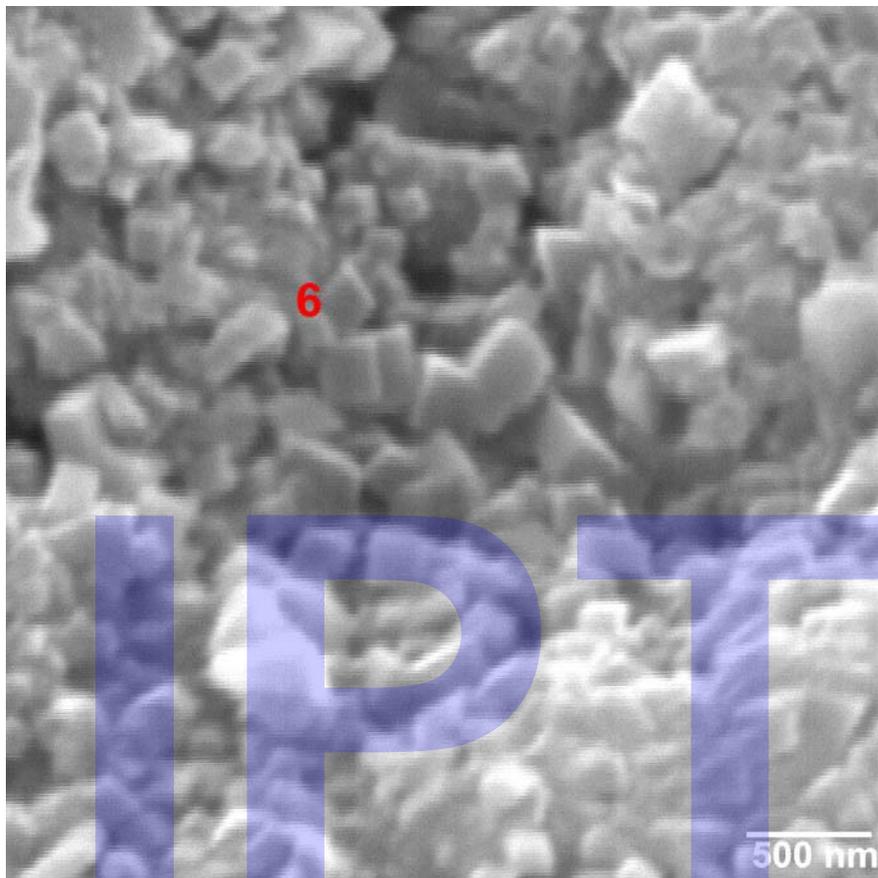


Foto 14 – Ondulada refeitório Descoberta. Localização do ponto de análise por EDS – região central (1000x).

Tabela 15 - Ondulada refeitório Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 6 – cristais de calcita + sílica gelatinizada.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	0,000
O	K α	45,349
Mg	K α	0,827
Al	K α	1,586
Si	K α	24,378
Ca	K α	27,861
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

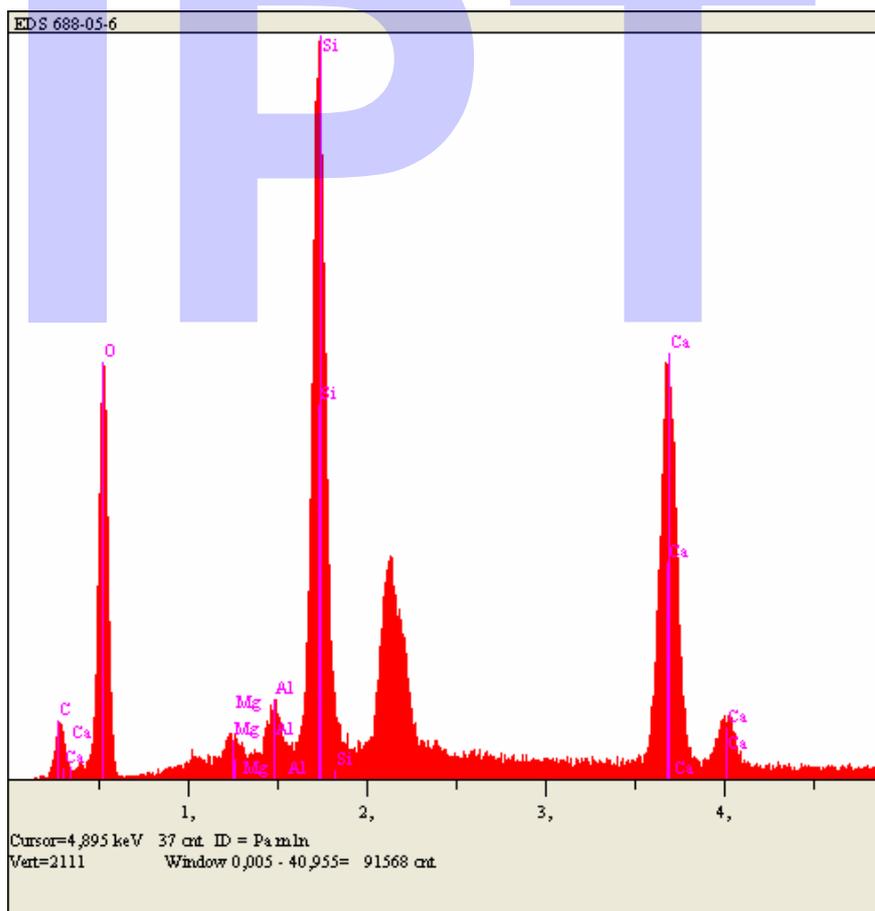


Figura 15 - Ondulada refeitório Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto 6.

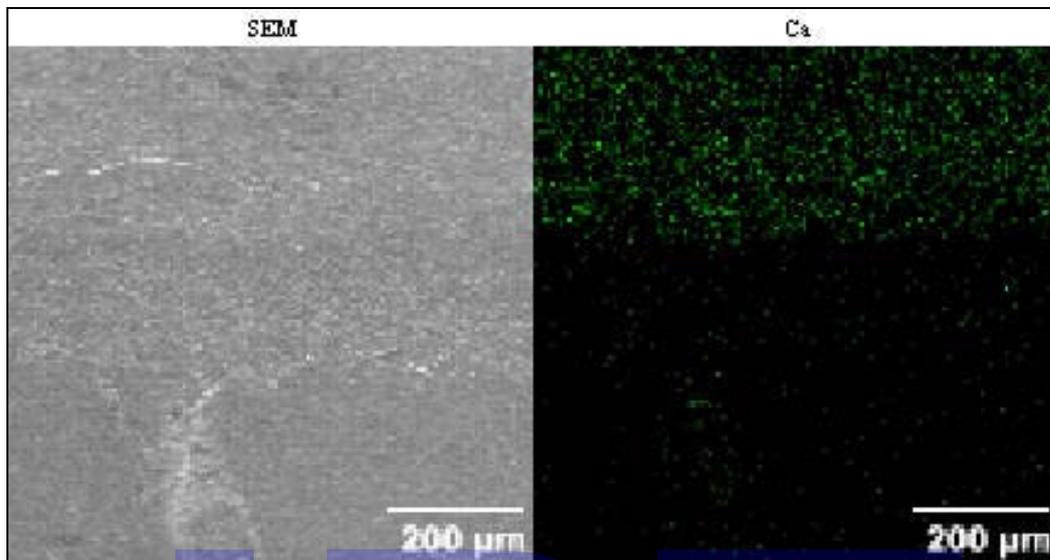


Foto 15: Ondulada refeitório Descoberta. Imagem SEM e mapa de pontos de cálcio – na imagem SEM destacam-se três faixas que equivalem às zonas carbonatadas (superior) e de corrosão (central), sendo a inferior somente o vidro+araldite. Na zona de corrosão, pobre em Ca, não há pasta carbonatada, restando provavelmente sílica gelatinizada.

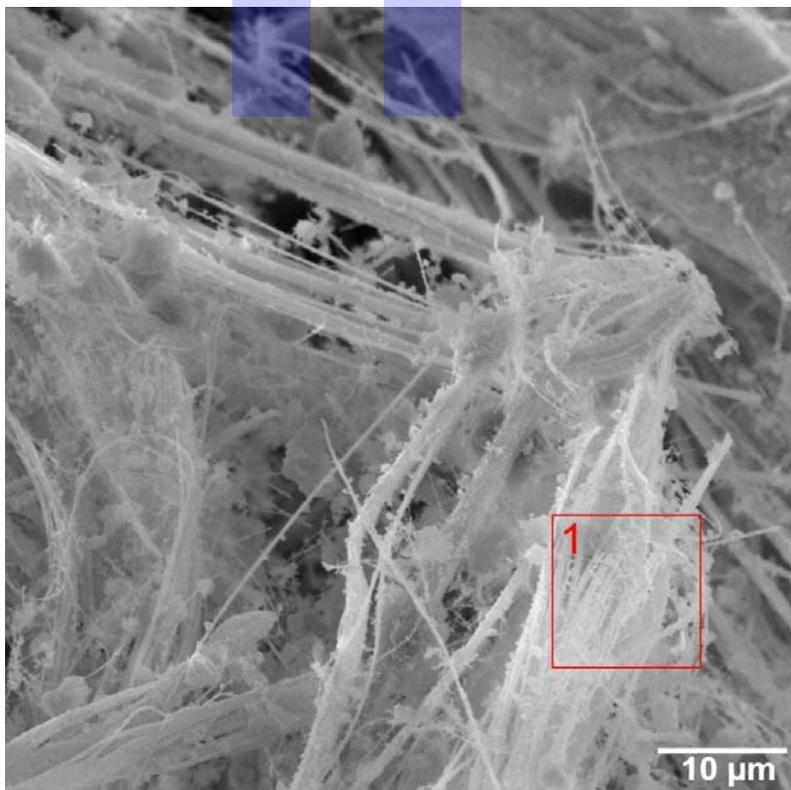


Foto 16 – Ondulada refeitório Descoberta. Fibras de crisotila destituídas da matriz e impregnadas por calcita. Superfície externa.

Tabela 16 - Ondulada refeitório Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS – fibras de crisotila possivelmente impregnadas por calcita.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
O	K α	53,534
Mg	K α	12,064
Al	K α	2,258
Si	K α	19,427
Ca	K α	9,162
Fe	K α	3,556
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

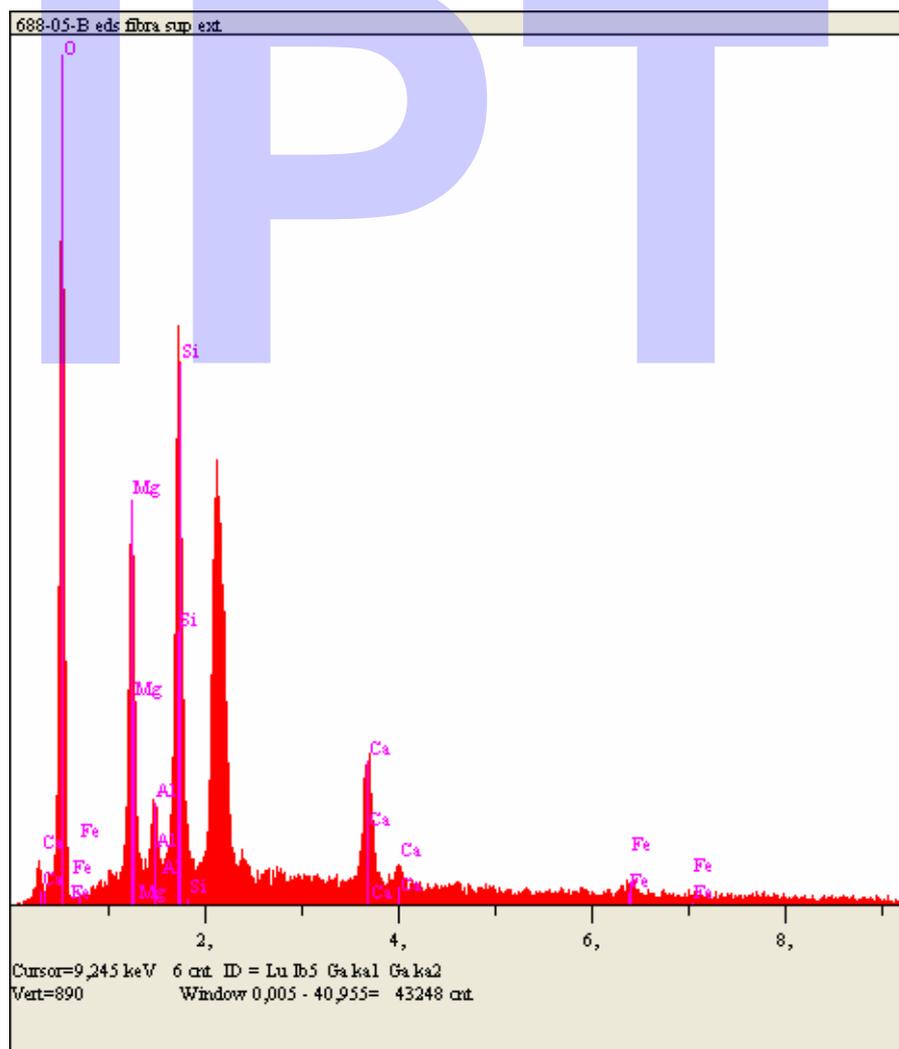


Figura 16 - Ondulada refeitório Descoberta. Espectro obtido por EDS da área 1.

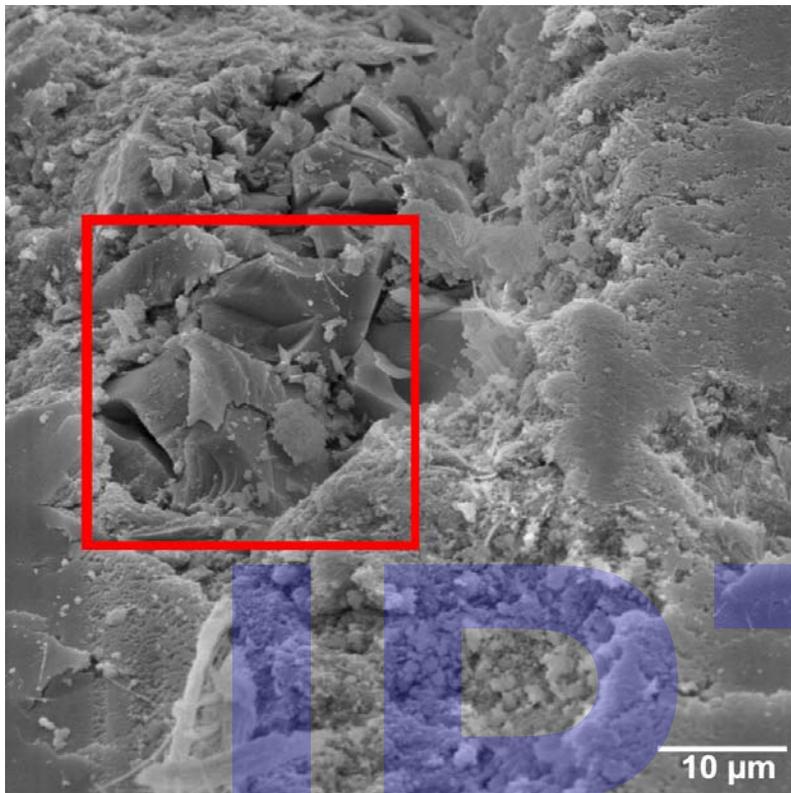


Foto 17 – Ondulada refeitório Descoberta. Sílica gelatinizada, gretada, na zona de corrosão da telha. Em destaque o local da FOTO 18.

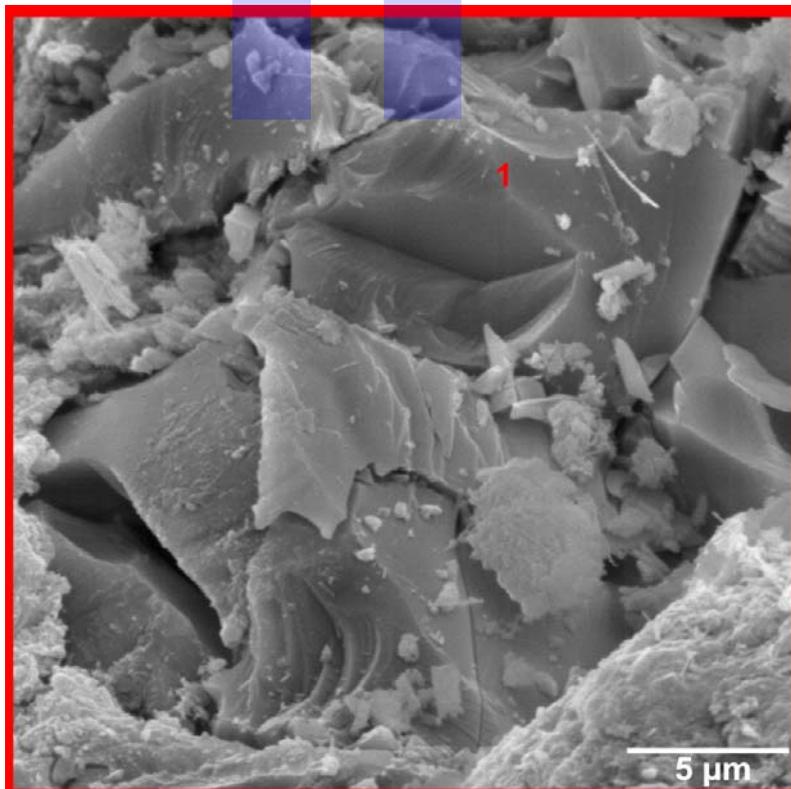


Foto 18 – Ondulada refeitório Descoberta. Localização do ponto 1, analisado por EDS.

Tabela 17 - Ondulada refeitório Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS – sílica gelatinizada.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
O	K α	40,235
Si	K α	59,765
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

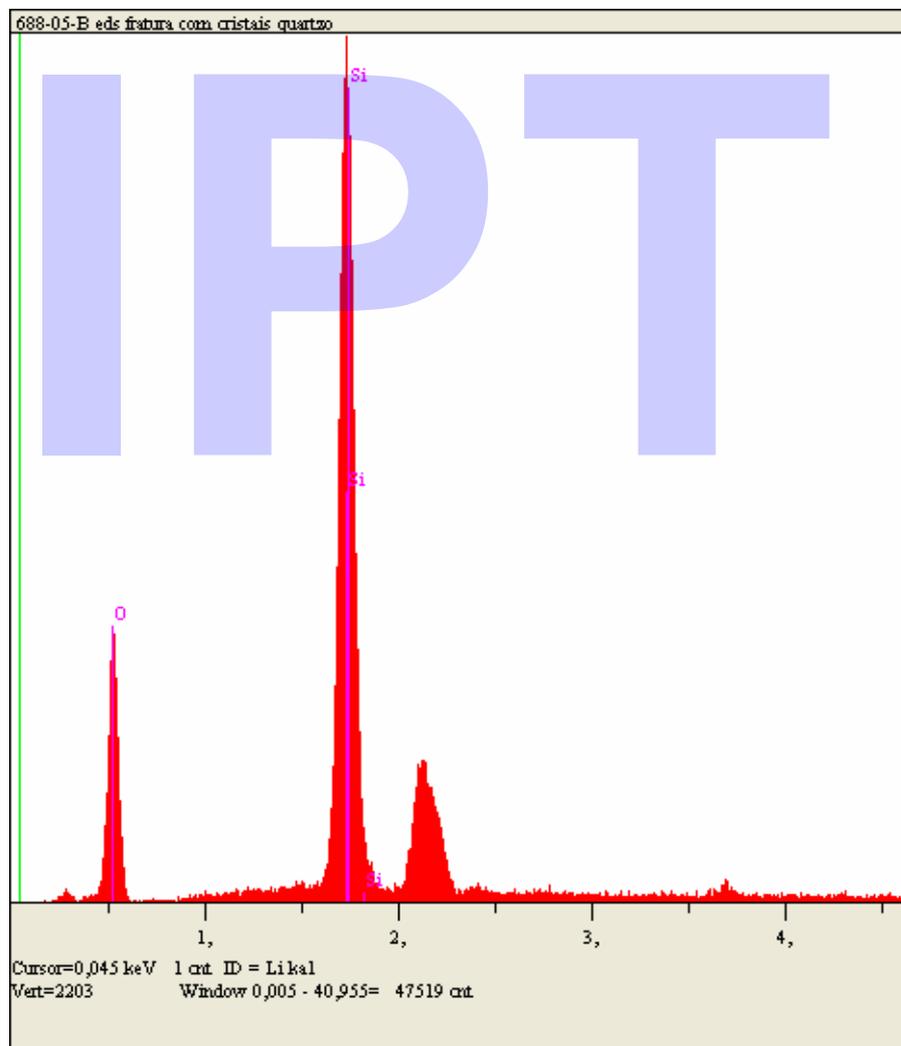


Figura 17 - Ondulada refeitório Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto 1.

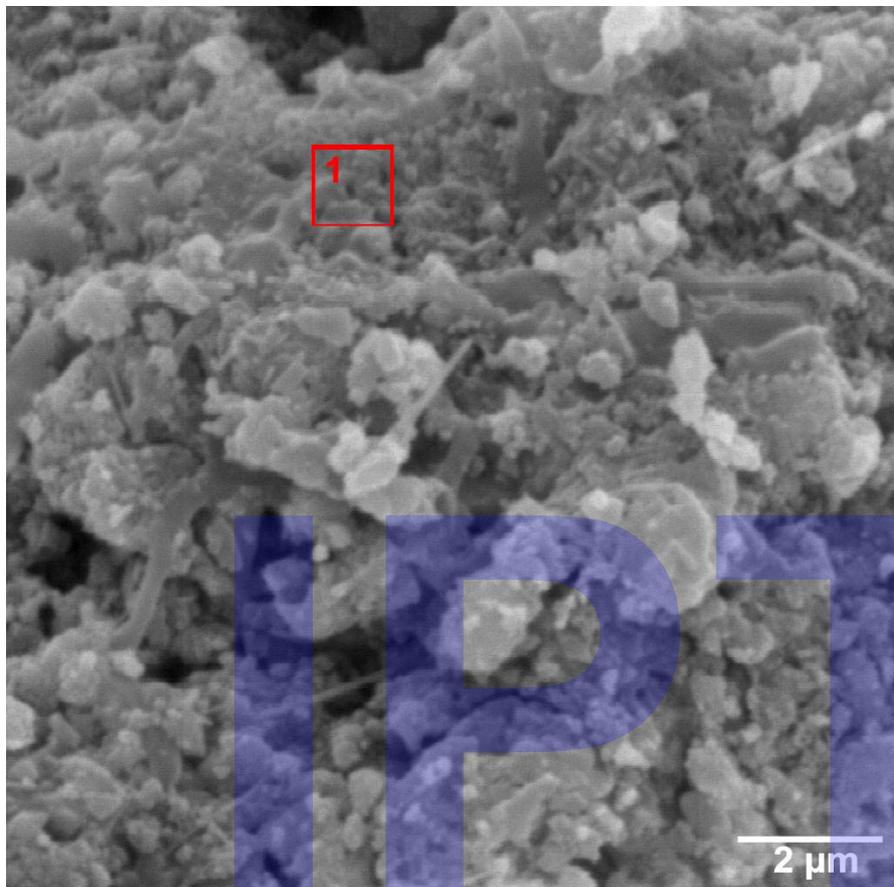


Foto 19 Ondulada refeitório Descoberta. Provável mistura de C-S-H e calcita na zona intermediária à de corrosão e à interna.

Tabela 18 - Ondulada refeitório Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS – zona intermediária.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
O	K α	40,641
Mg	K α	0,443
Al	K α	1,308
Si	K α	11,897
Ca	K α	42,419
Fe	K α	3,293
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

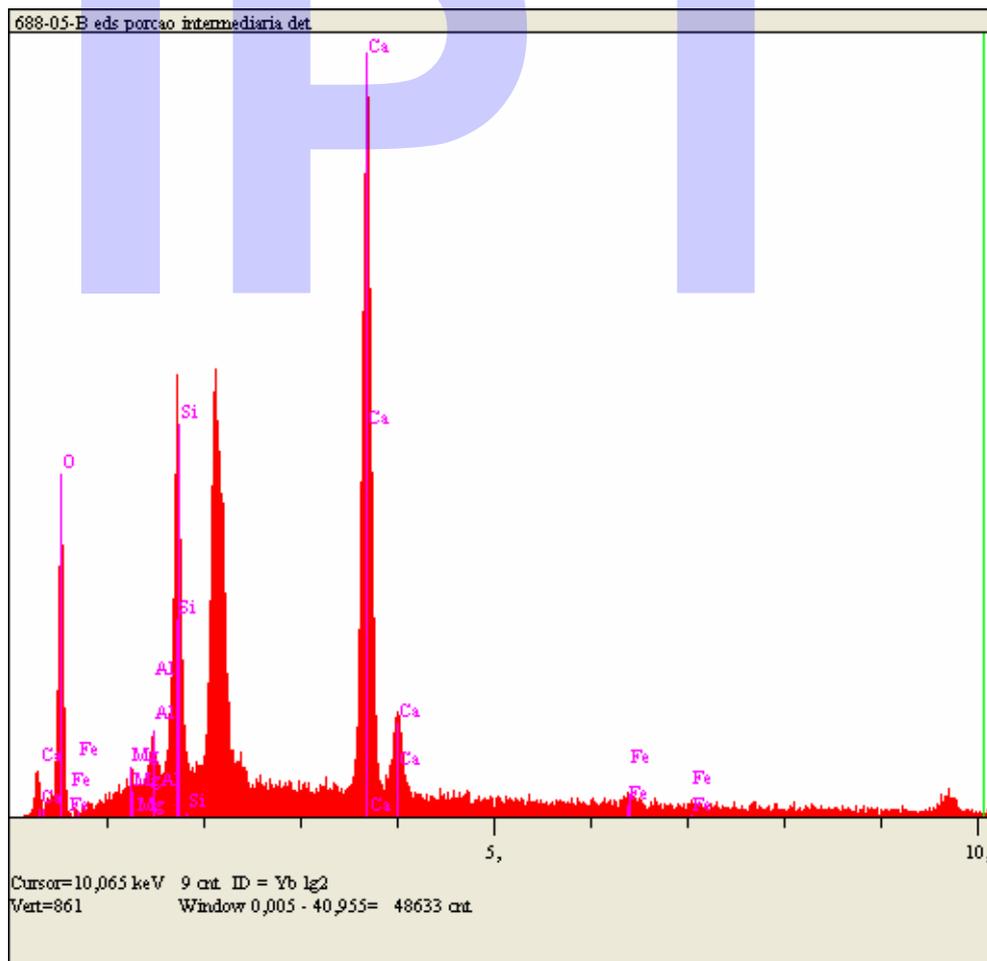


Figura 18 - Ondulada refeitório Descoberta. Espectro obtido por EDS da área 1.

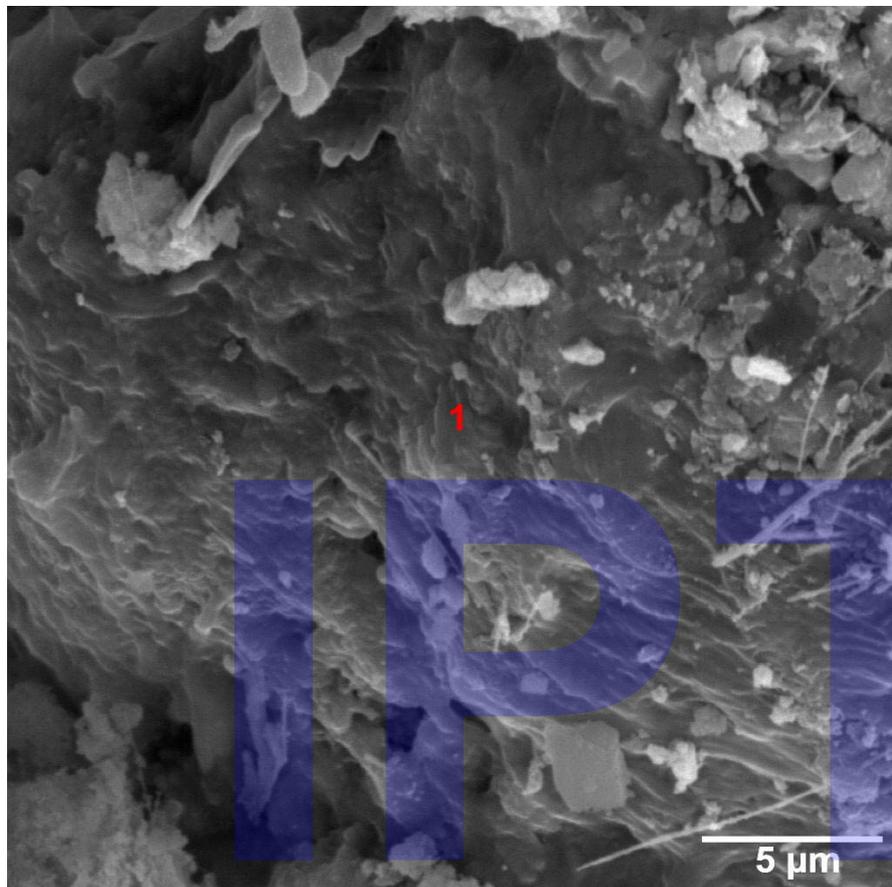


Foto 20 – Ondulada refeitório Descoberta. Provável matriz rica em portlandita em zona interna da telha.

Tabela 19 - Ondulada refeitório Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS – zona interna da telha.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
O	K α	29,182
Mg	K α	0,997
Al	K α	2,393
Si	K α	7,131
Ca	K α	56,210
Fe	K α	4,087
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

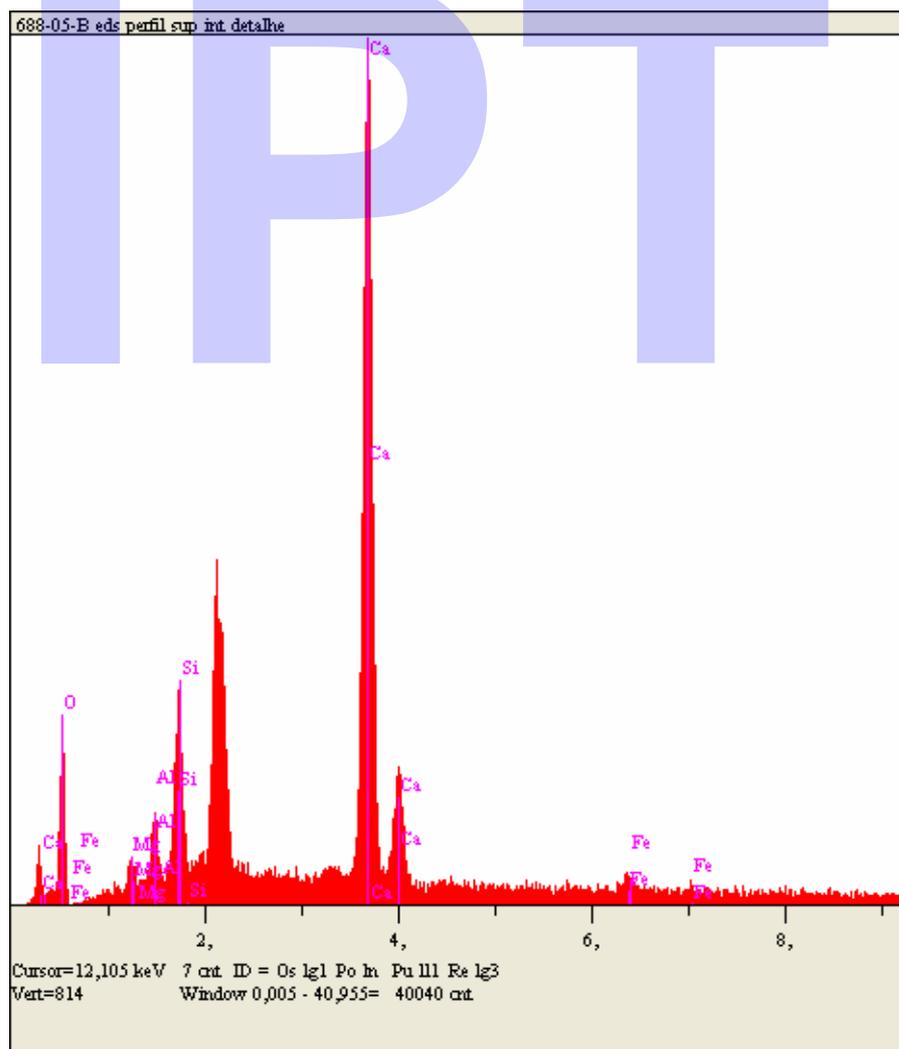


Figura 19 - Ondulada refeitório Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto 1.

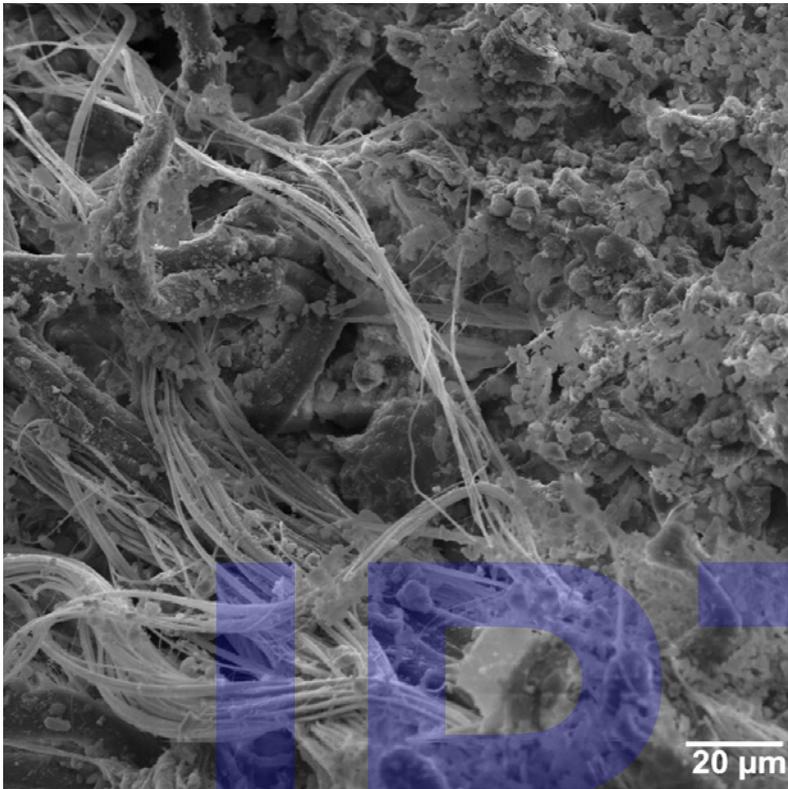


Foto 21 – Crespum Descoberta. Fibras de crisotila e de material biológico entrelaçados em superfície da telha.

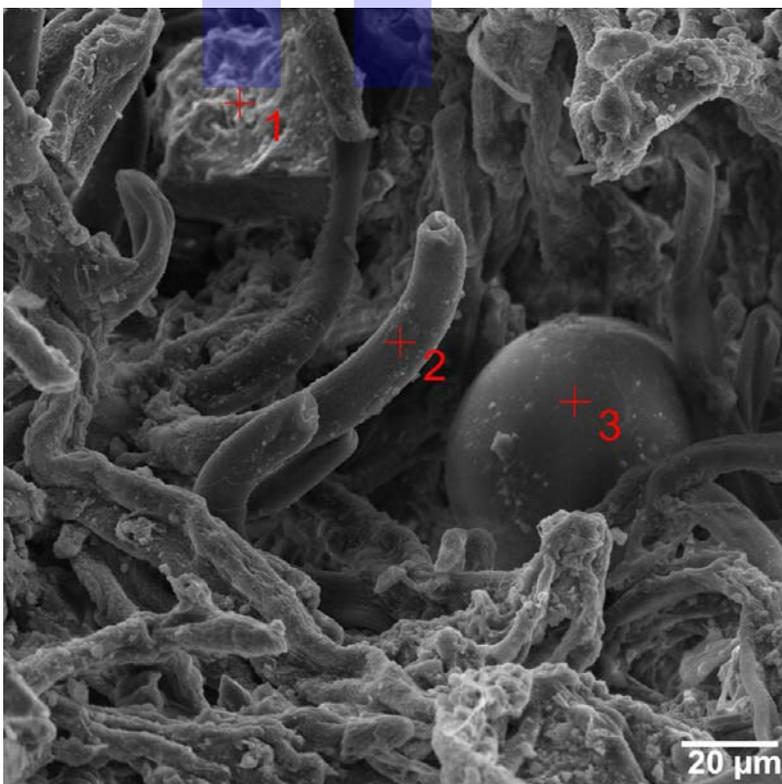


Foto 22 – Crespum Descoberta. Fibras de crisotila e de material biológico entrelaçados em superfície da telha.

Tabela 21 - Crespum Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 2 – material biológico.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	0,000
O	K α	55,031
Al	K α	2,897
Si	K α	8,789
Cl	K α	3,142
K	K α	3,743
Ca	K α	16,261
Fe	K α	10,137
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

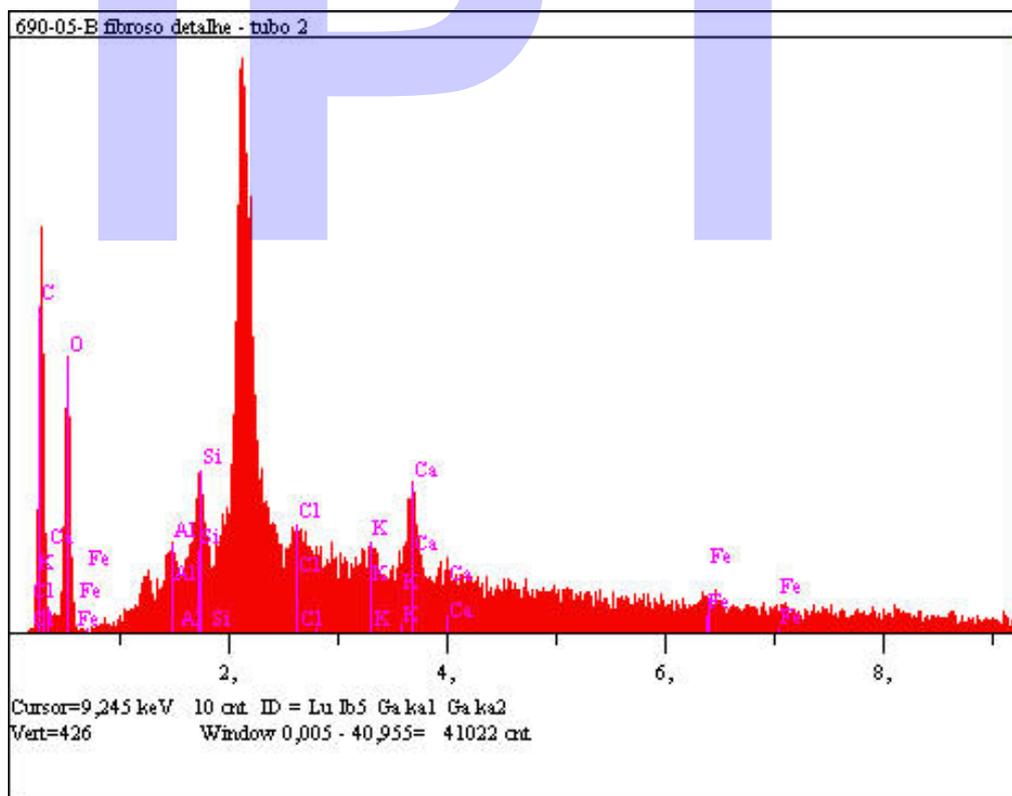


Figura 21 - Crespum Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto 2.

Tabela 22 - Crespum Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS do ponto 3 – possível belita.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
O	K α	34,587
Mg	K α	1,137
Al	K α	1,532
Si	K α	13,191
Cl	K α	0,495
K	K α	1,437
Ca	K α	39,927
Fe	K α	7,694
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

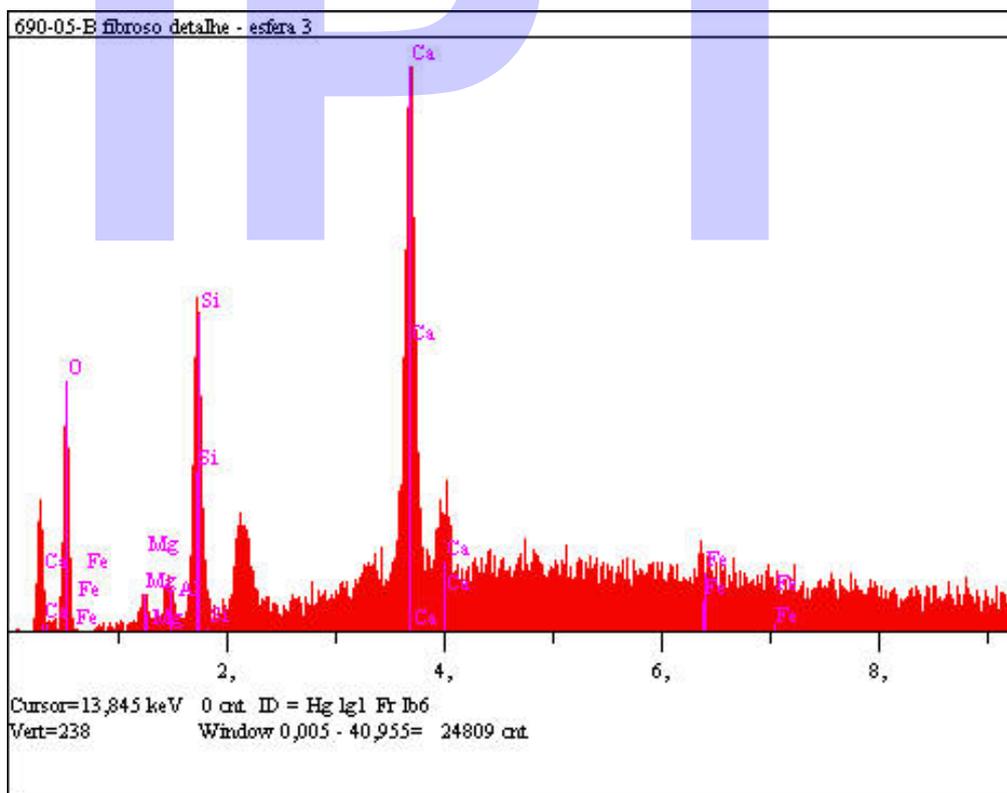


Figura 22 - Crespum Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto 2.

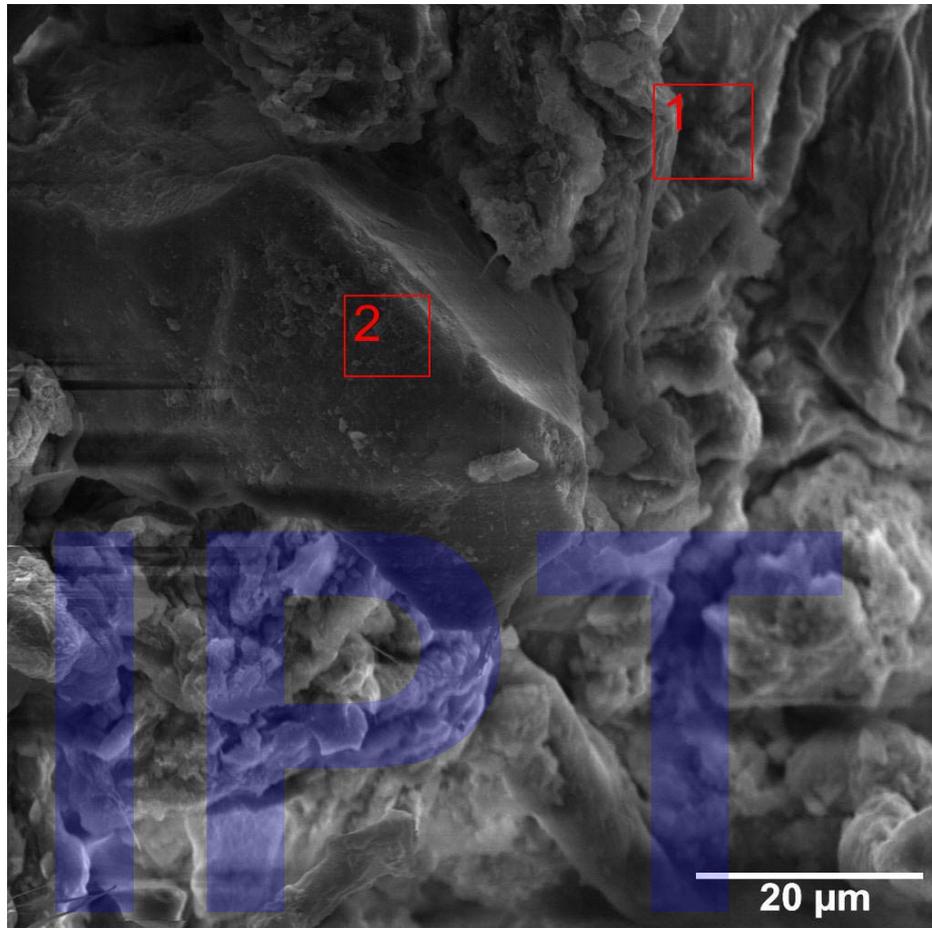


Foto 23 – Crespum Descoberta. Localização do ponto de análise por EDS (1000x).

Tabela 23 - Crespum Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS da área 1 – grão de quartzo impregnado com material ferruginoso.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
O	K α	38,376
Mg	K α	1,962
Al	K α	4,334
Si	K α	16,167
Cl	K α	0,349
K	K α	2,032
Ca	K α	9,381
Fe	K α	27,400
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

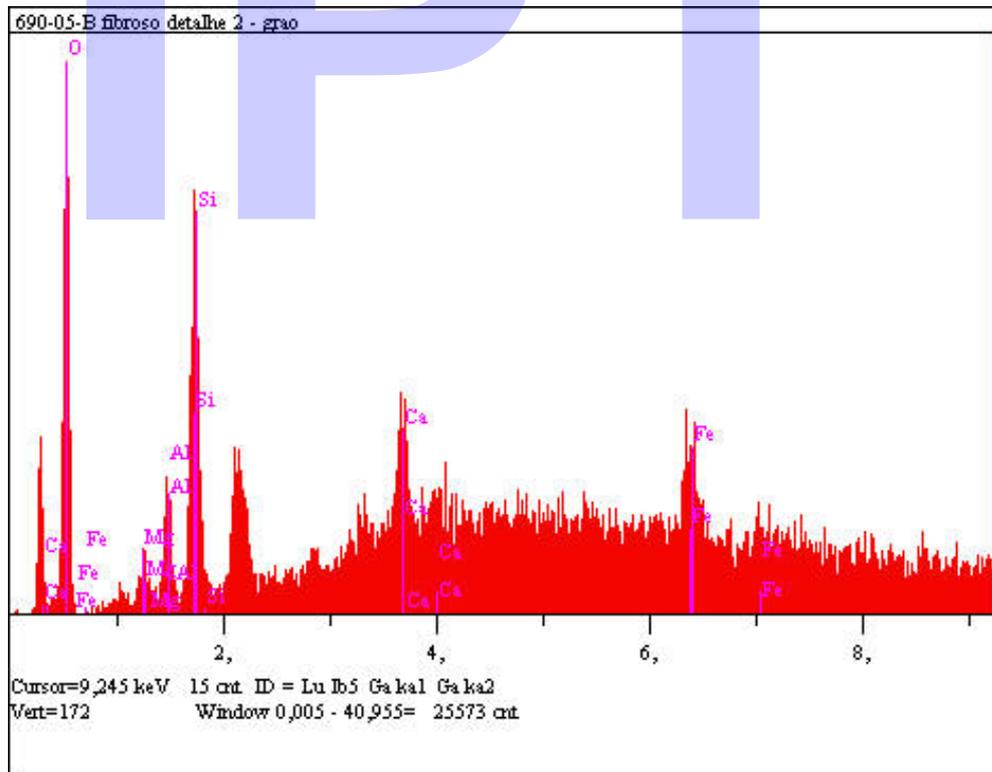


Figura 23 - Crespum Descoberta. Espectro obtido por EDS da área 1.

Tabela 24 - Crespum Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS da área 2 – provável C-S-H.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
O	K α	40,724
Mg	K α	0,748
Al	K α	3,468
Si	K α	10,599
Cl	K α	0,204
K	K α	1,127
Ca	K α	30,487
Fe	K α	12,642
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

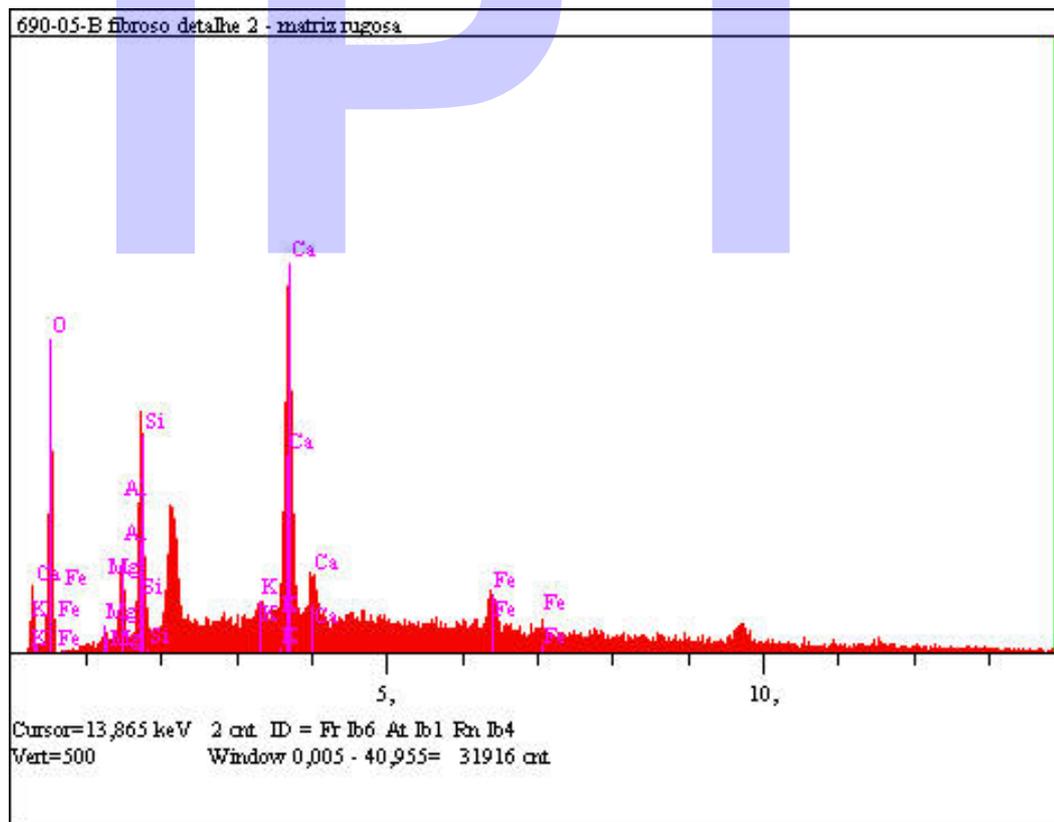


Figura 24 - Crespum Descoberta. Espectro obtido por EDS da área 2.

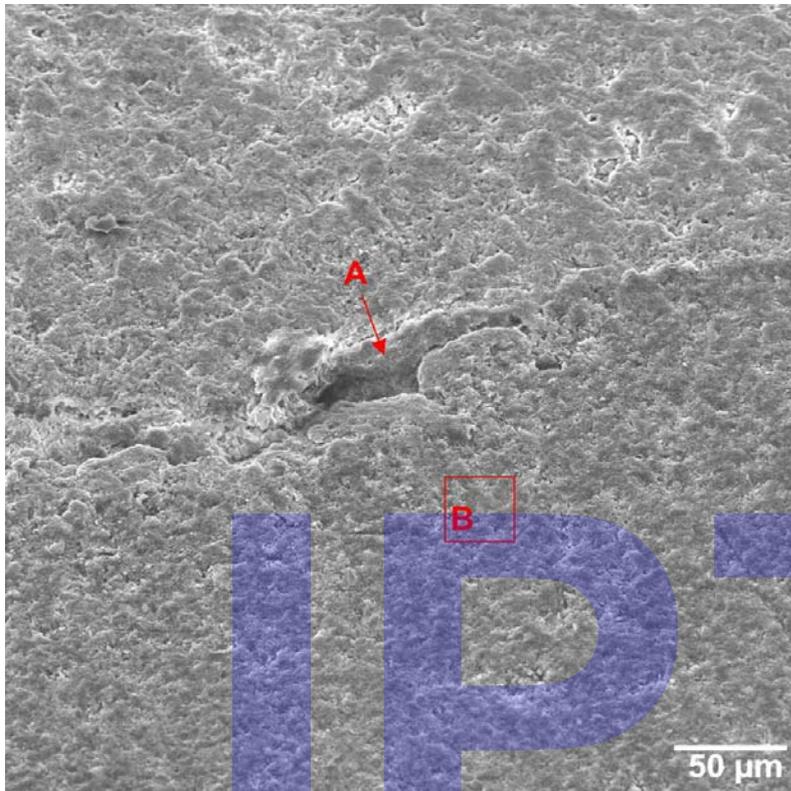


Foto 24 – Pavilhão Phebo Descoberta. Filme descontínuo de fuligem (A), resina de preparação (porção inferior) e base da telha (porção superior).

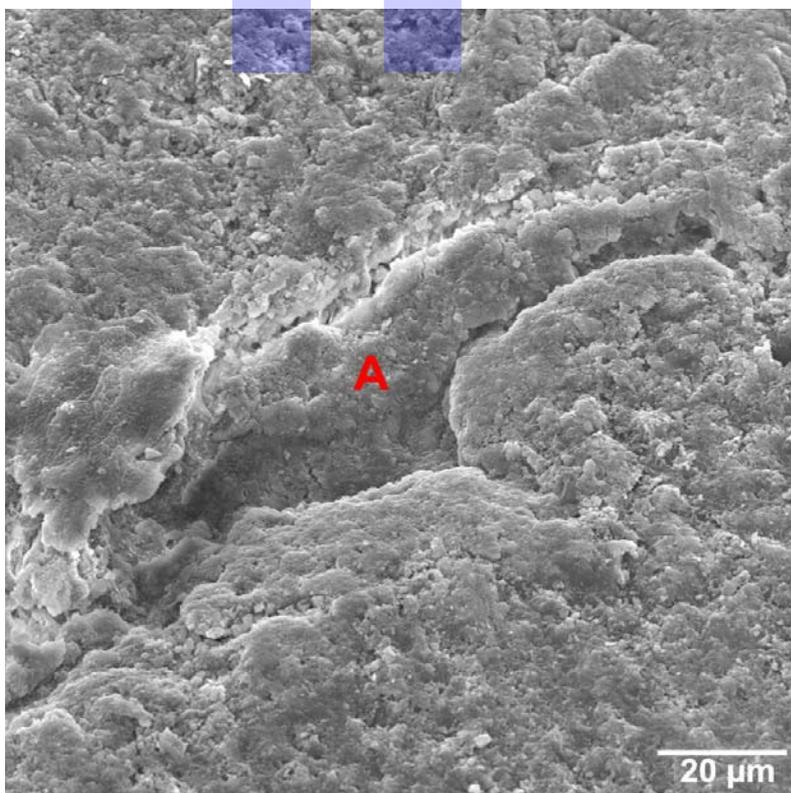


Foto 25 – Pavilhão Phebo Descoberta. Detalhe do filme de fuligem e ponto de análise por EDS (A).

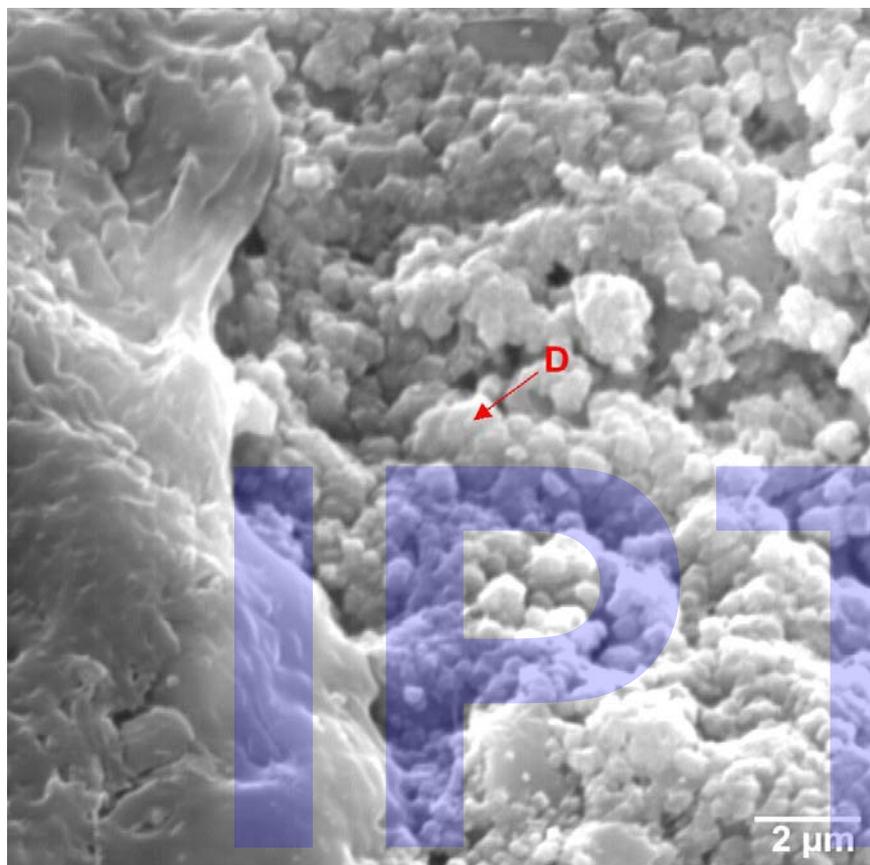


Foto 26 – Pavilhão Phebo Descoberta. Aglomerado de C-S-H + calcita na pasta cimentícia.

Tabela 26 - Pavilhão Phebo Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS – aglomerado de C-S-H + calcita.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	13,483
O	K α	51,513
Na	K α	0,581
Mg	K α	1,060
Al	K α	0,914
Si	K α	6,629
Ca	K α	25,820
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

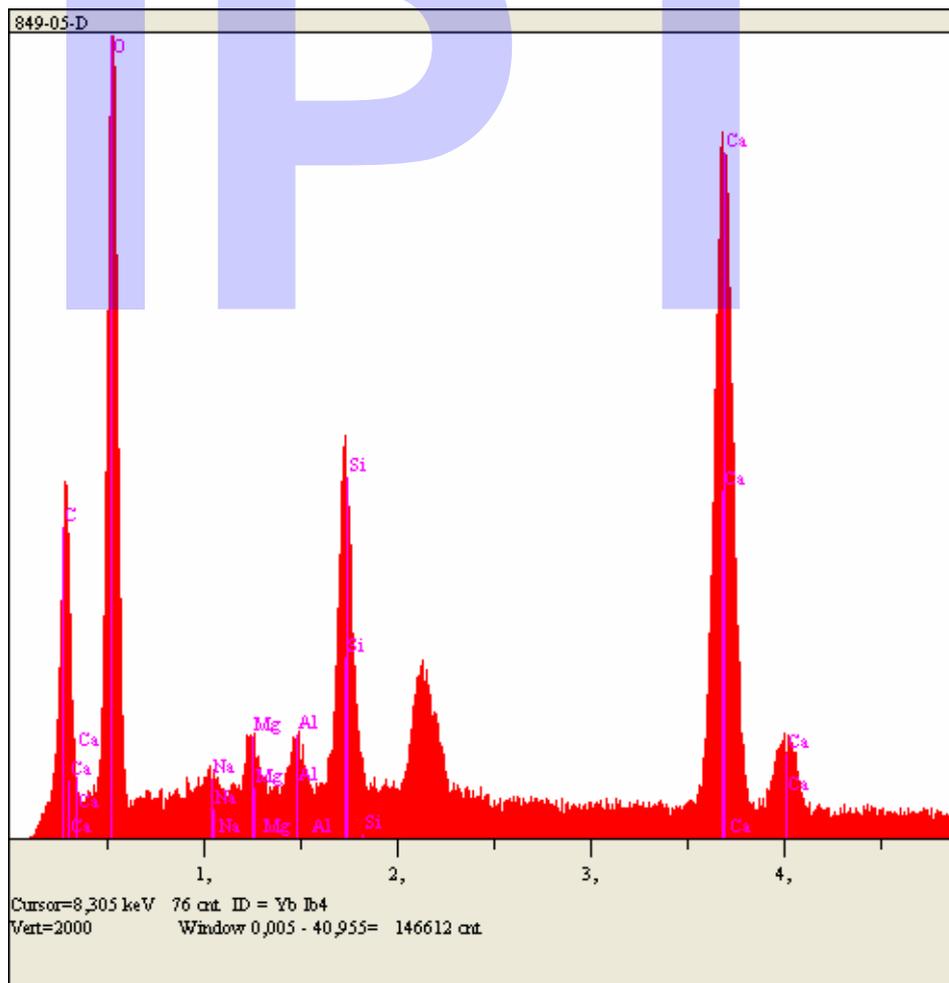


Figura 26 - Pavilhão Phebo Descoberta. Espectro obtido por EDS da área D.

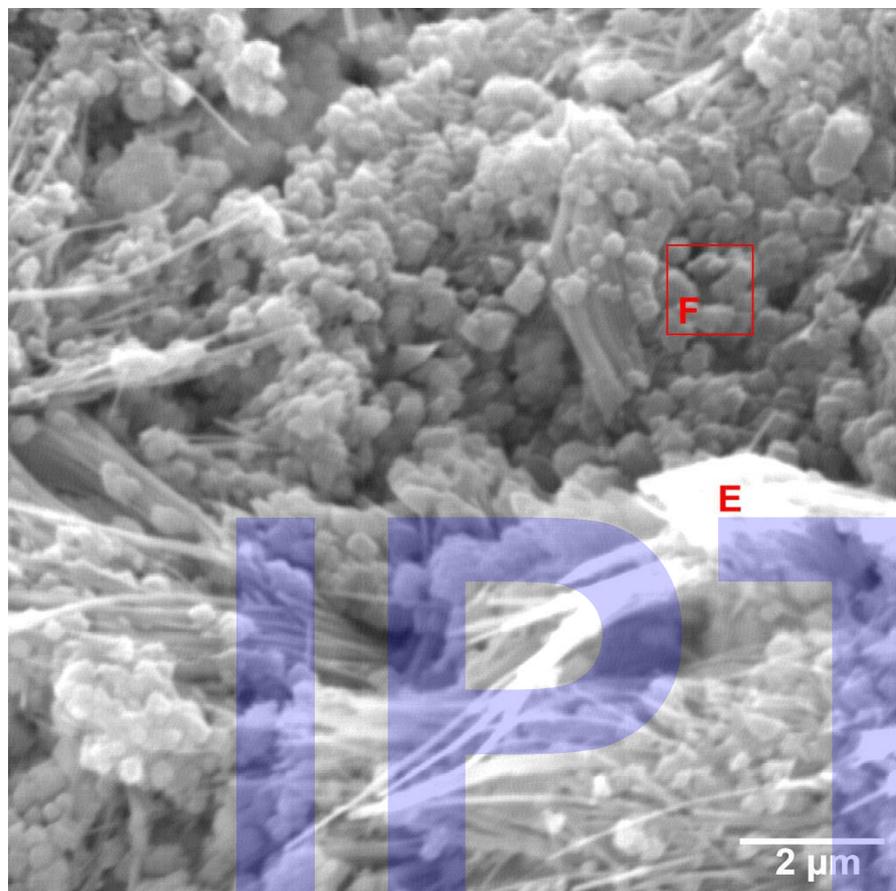


Foto 27 – Pavilhão Phebo Descoberta. Trama de fibras de crisotila (E) impregnada com grão de carbonato da matriz (F).

Tabela 27 - Pavilhão Phebo Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS – fibras de crisotila (ponto E).

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	16,893
O	K α	53,168
Mg	K α	8,966
Al	K α	0,680
Si	K α	9,474
Ca	K α	10,820
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

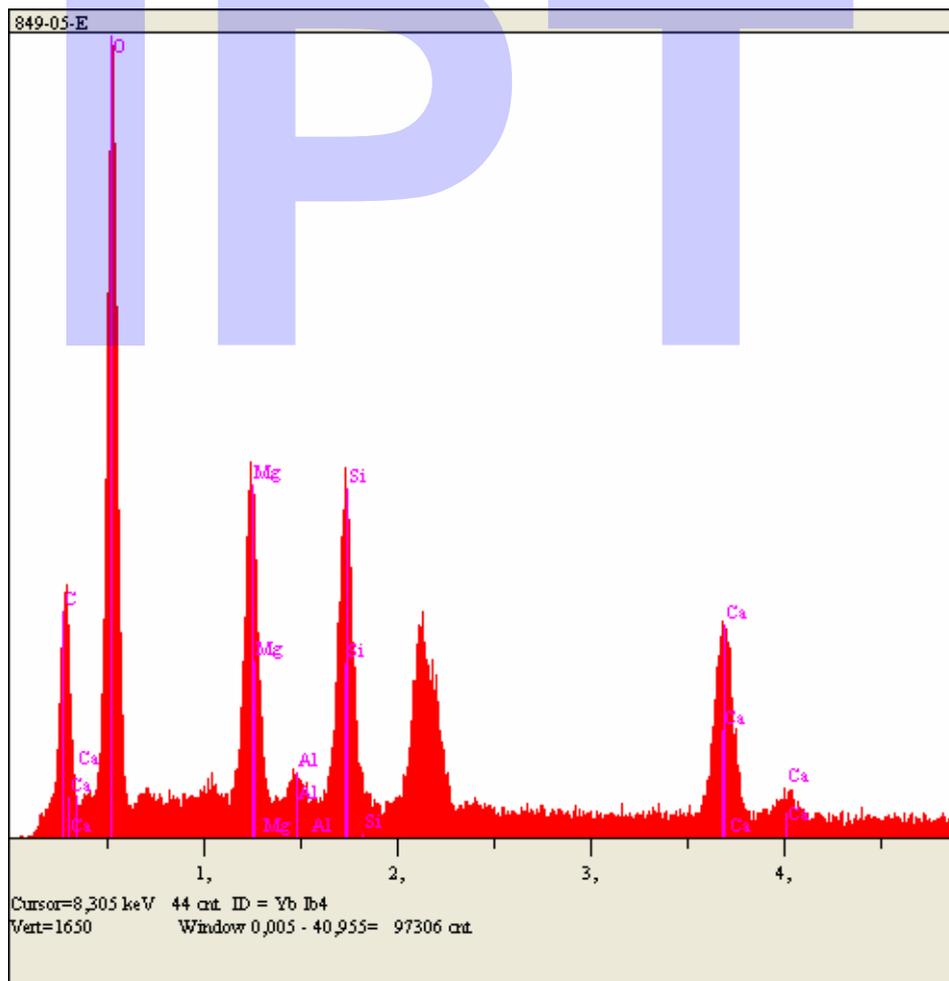


Figura 27 - Pavilhão Phebo Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto E.

Tabela 28 - Pavilhão Phebo Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS – grãos de calcita + fibras de crisotila (ponto F).

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	14,231
O	K α	42,218
Mg	K α	6,403
Al	K α	0,992
Si	K α	10,873
Ca	K α	25,282
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

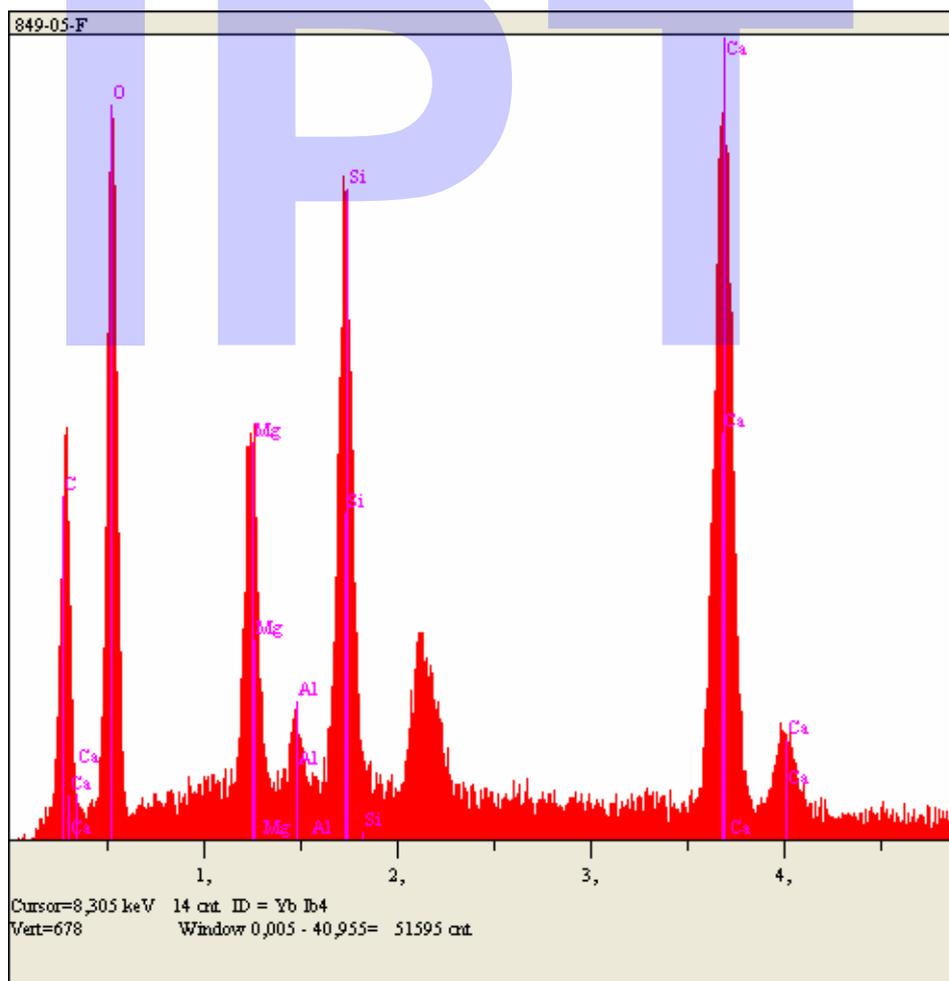


Figura 28 - Pavilhão Phebo Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto F.

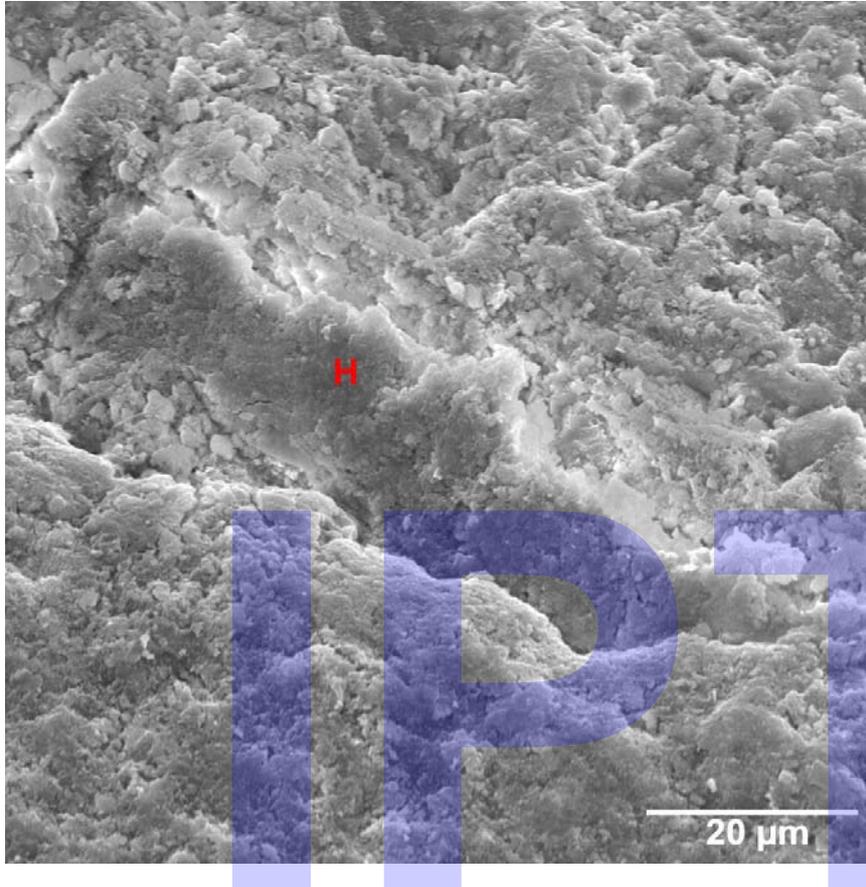


Foto 28 – Pavilhão Phebo Descoberta. Filme descontínuo de fuligem. Localização do ponto H analisado por EDS.

Tabela 29 - Pavilhão Phebo Descoberta. Análise semi-quantitativa EDS – filme de fuligem.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	20,566
O	K α	33,288
Na	K α	0,924
Mg	K α	1,231
Al	K α	1,964
Si	K α	28,665
Ca	K α	8,070
Ti	K α	5,292
Total		
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

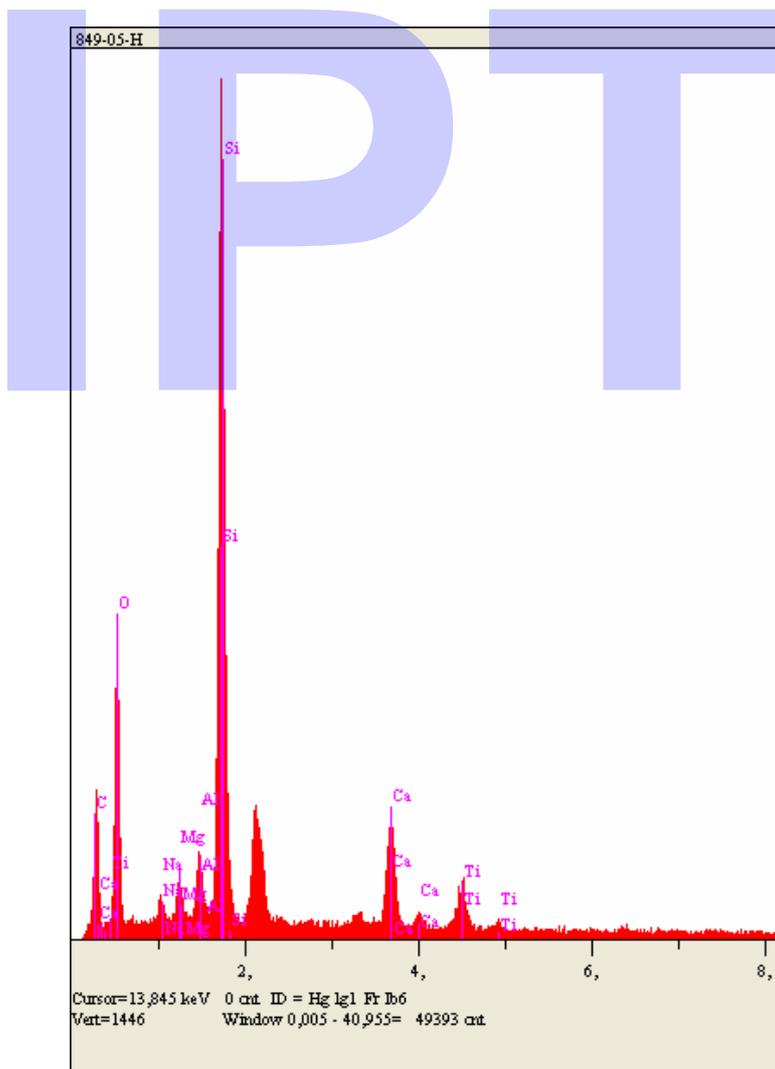


Figura 29 - Pavilhão Phebo Descoberta. Espectro obtido por EDS do ponto H para **Foto 45**.

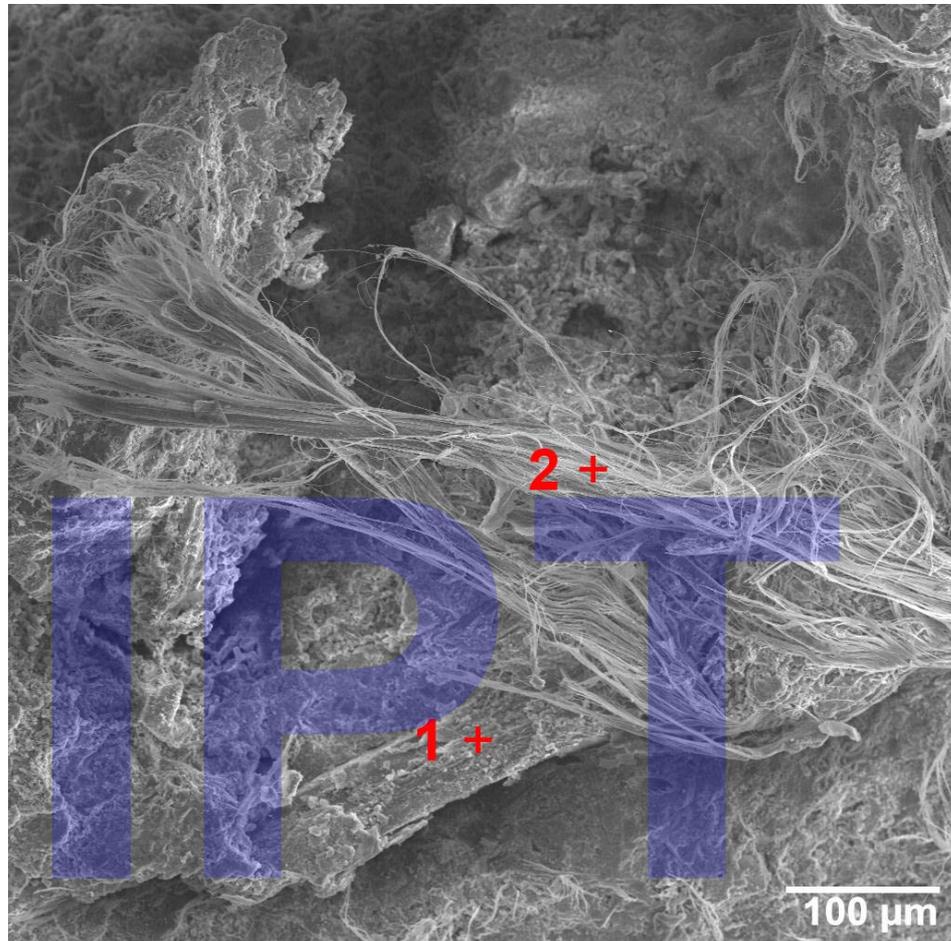


Foto 29 – Embalagens – Phebo. Localização dos pontos de análise por EDS.

Tabela 30 - Embalagens – Phebo. Análise semi-quantitativa por EDS do ponto 2.

Elemento Químico	Raia	Porcentagem em massa
C	K α	0,000
O	K α	35,476
Mg	K α	19,247
Al	K α	0,307
Si	K α	28,080
Ca	K α	10,969
Fe	K α	5,920
Total		100
kV	15.0	
Takeoff Angle	35.7°	

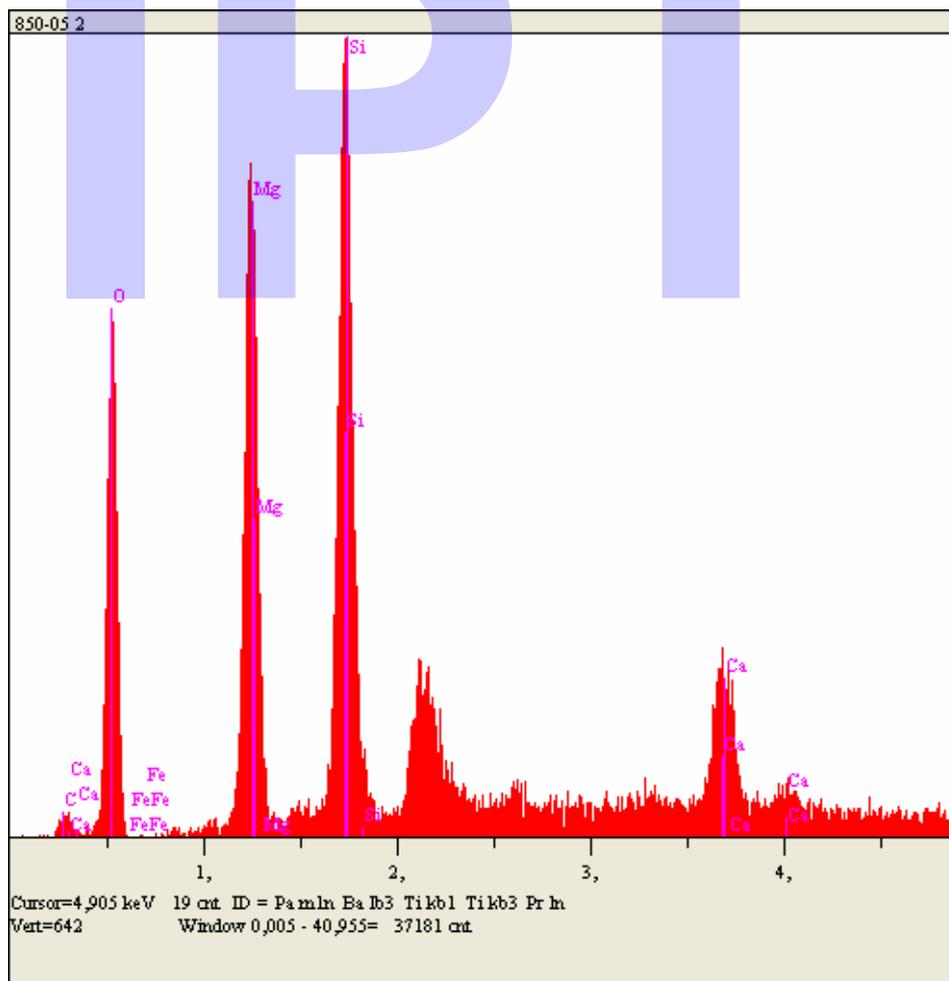


Figura 30 - Embalagens – Phebo. Espectro obtido por EDS do ponto 1.

ANEXOS E

Absorção d'água

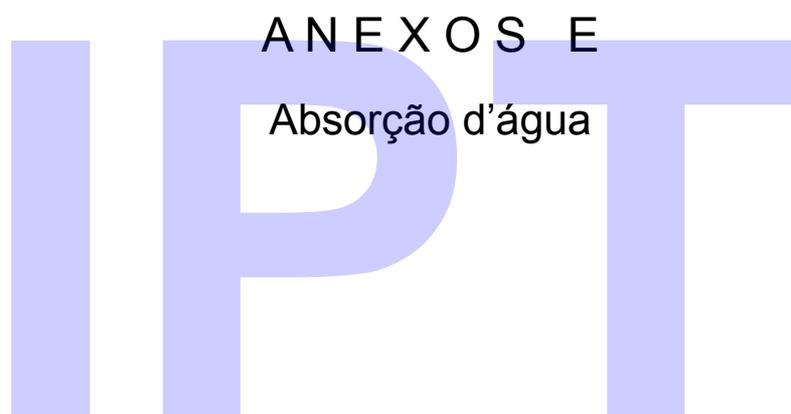


Tabela 1 – Resultados de absorção d'água.

Local	Telha	Condição	Idade	Massa seca em estufa (g)	Massa saturada (g)	Absorção (%)
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Crespum Coberta	coberta	25	210,8	241,4	14,5
	Crespum Descoberta	descoberta		210,8	247,7	17,5
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Saúde – RJ Coberta	coberta	35	561,3	636,3	13,4
	Saúde – RJ Descoberta	descoberta		409,4	476,9	16,5
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar 4	coberta	70	226,6	249,1	9,9
	Hangar 5	descoberta		220,8	244,8	10,9
Fábrica Phebo Belém PA	Embalagens Phebo Coberta	coberta	40	175,8	208,6	18,7
	Embalagens Phebo Descoberta	descoberta		128,1	171	33,5
UFPA Belém PA	PB – P1 – UFPA Coberta	coberta	30	169,9	192,5	13,3
	PB – P1 – UFPA Descoberta	descoberta		209,2	251,2	20,1
Eternit Curitiba PR	Nova	telha nova	0	459,6	571,2	24,3

ANEXOS F

Relatório de Ensaio N° 938 288-203

RELATÓRIO DE ENSAIO N.º 938 288-203

CLIENTE: Laboratório de Materiais de Construção Civil/ CT-OBRAS
A/C: Dra. Mirian Cruxén Barros de Oliveira

INTERESSADO: Instituto Brasileiro de Crisolita

NATUREZA DO TRABALHO: Diversas determinações

REFERÊNCIA: Proposta de Trabalho N.º 30.867/05

1 MATERIAIS

Onze (11) materiais designados pelo Cliente como "telha de cimento-amianto" e destinados a diversas determinações químicas. Na Tabela 1 estão descritas informações referentes a identificação dos materiais recebidos em 16.03.2006 na área de química do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do IPT.

Tabela 1: Dados dos materiais recebidos na área de química do LMCC

Identificação do Cliente	Dados do LMCC	
	Massa (g)	LMCC-Q N.º
"LPTR N.º 378/05"	32	19.706
"LPTR N.º 690/05 - coberta"	15	19.707
"LPTR N.º 690/05 - descoberta"	13	19.708
"LPTR N.º 691/05 - coberta"	25	19.709
"LPTR N.º 691/05 - descoberta"	15	19.710
"LPTR N.º 751/05 - coberta"		19.711
"LPTR N.º 751/05 - descoberta"		19.712
"LPTR N.º 851/05 - coberta"		19.713
"LPTR N.º 851/05 - descoberta"		19.714
"LPTR N.º 852/05 - coberta"		19.715
"LPTR N.º 852/05 - descoberta"		19.716

2 MÉTODOS UTILIZADOS

- *Umidade (UM) e perda ao fogo (PF):* Procedimento CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-042 "Concreto e Argamassa – Reconstituição de traço", com base em diretrizes gerais do método de ensaio apresentado em QUARCIONI, V. A. *Reconstituição de traço de argamassas: atualização do Método IPT*. Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998, 188 p.

Nota 1: O teor de perda ao fogo foi determinado fracionadamente, na mesma amostra calcinada nas faixas de temperatura entre 105°C e 550°C; entre 550°C e 1000°C.

IPT**Instituto de Pesquisas Tecnológicas**

Laboratório de Materiais de Construção Civil/ CT-OBRAS

- *Óxido de cálcio livre (CaO livre):*
NBR-NM 13/04 "Cimento Portland - Análise química - Determinação de óxido de cálcio livre pelo etileno glicol" (CT-OBRAS-LMCC-Q -PE-010).
- *Anidrido carbônico (CO₂):*
NBR-NM 20/04 "Cimento Portland e suas matérias primas - Análise química - Determinação de dióxido de carbono por gasometria" (CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-011).
- *Resíduo Insolúvel em HCl (1+50):* NBR-NM 22/04 "Cimento Portland com adições de materiais pozolânicos - Análise química - Método de arbitragem", item 6.7.
- *Anidrido silícico (SiO₂), óxido de ferro (Fe₂O₃), óxido de alumínio (Al₂O₃), óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO):* Procedimento CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-061 "Determinação de metais por espectrofotometria por absorção atômica - Procedimento de Leitura", com base em diretrizes gerais da NBR 13810/97 e ASTM C 114/05.

Nota 2: O ensaio foi executado no filtrado, após a determinação de resíduo insolúvel em HCl (1+50).

3 RESULTADOS

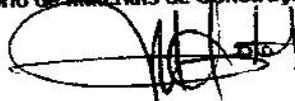
Os resultados obtidos nos ensaios executados estão apresentados na Tabela 2, anexa.

4 ANEXO

ANEXO – Tabela 2: Resultados de Ensaio.

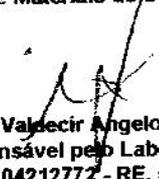
São Paulo, 10 de abril de 2.006

CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE
INFRA-ESTRUTURA
Laboratório de Materiais de Construção Civil



Quím. Fabiano Ferreira Chotoli
Supervisor dos Ensaios
CRQ n.º 04243178 - RE. n.º 8488.9

CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE
INFRA-ESTRUTURA
Laboratório de Materiais de Construção Civil



Quím. M.º Valdecir Angelo Quarcioni
Responsável pelo Laboratório
CRQ n.º 04212772 - RE. n.º 6741.3

5 EQUIPE TÉCNICA

Daniel Martins Aleixo – *Químico*

Fabiano Ferreira Chotoli – *Químico*

Mário Sérgio Guilge - *Técnico Químico*

Wilma F. C. de Souza - *Técnico Químico*

Anexo**Tabela 2: Resultados de Ensaio (01 página)****IPT**

Tabela 2: Resultados de ensaio

Identificação		Resultados, em %												
Ciliente	LMCC-Q N.º	UM	PF (105°C a 550°C)	PF (550°C a 1000°C)	PF total Nota 3	CO ₂	CaO livre	RI HCl (1+80)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Cimento hidratado Nota 4
"LPTR N.º 378/05"	19.706	2,26	8,46	17,8	28,5	14,6	3,51	14,6	7,37	1,92	1,85	34,4	3,54	57,5
"LPTR N.º 690/05 - coberta"	19.707	1,75	8,69	25,0	35,5	26,7	0,12	17,5	2,03	1,72	1,56	33,7	3,64	51,3
"LPTR N.º 690/05 - descoberta"	19.708	1,84	9,78	22,9	34,5	25,0	0,14	16,1	3,54	1,86	1,62	33,1	4,00	53,9
"LPTR N.º 691/05 - coberta"	19.709	1,56	7,50	20,6	29,7	20,2	0,27	14,1	6,58	2,03	1,67	36,7	0,87	55,4
"LPTR N.º 691/05 - descoberta"	19.710	1,34	7,38	20,1	28,8	17,5	0,38	12,7	7,80	2,06	1,68	36,6	0,79	56,3
"LPTR N.º 751/05 - coberta"	19.711	1,36	8,12	18,6	28,1	17,3	0,31	12,7	8,32	1,86	2,02	33,3	1,82	55,4
"LPTR N.º 751/05 - descoberta"	19.712	1,47	8,12	18,2	27,8	16,9	0,77	12,5	8,49	2,05	2,13	36,8	1,52	59,1
"LPTR N.º 851/05 - coberta"	19.713	1,33	11,2	20,3	32,8	26,2	0,27	17,0	5,18	1,74	1,88	33,2	1,70	54,9
"LPTR N.º 851/05 - descoberta"	19.714	1,89	15,4	19,2	36,5	20,1	0,33	20,4	4,67	1,61	1,81	30,2	1,61	55,3
"LPTR N.º 852/05 - coberta"	19.715	1,69	9,21	20,7	31,6	21,3	0,47	16,5	5,14	2,16	1,76	32,8	1,94	53,0
"LPTR N.º 852/05 - descoberta"	19.716	1,84	9,32	22,4	33,5	23,0	0,14	19,8	2,55	2,14	1,75	32,2	1,89	49,9

Nota 3: A perda ao fogo total foi calculada a partir da soma da umidade, PF (105°C a 550°C) e PF (550°C a 1000°C).

Nota 4: A fração cimento hidratado, estimada para as amostras ensaiadas, foi calculada a partir da soma dos teores de PF (105°C a 550°C), SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO e MgO. ✖