

TT77

AVALIAÇÃO DE INCRUSTAÇÃO EM TUBULAÇÃO DE PVC

OTAVIO LUIZ DO NASCIMENTO

ENGENHEIRO CIVIL PELA FACULDADE DE ARQUITETURA E ENGENHARIA DA FUMEC (1991), MESTRE EM ENGENHARIA METALÚRGICA E MATERIAIS PELA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - UFMG (2005). DIRETOR DA CONSULTARE – PEDROSA E NASCIMENTO ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. E PROFESSOR AUXILIAR CONCURSADO DA FEA-FUMEC (1992 ATÉ A PRESENTE DATA) ÁREA DE ATUAÇÃO: CONSULTORIAS TÉCNICAS NA ÁREA DE REVESTIMENTO DE FACHADA, ALVENARIA, ARGAMASSAS, DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS, CONCRETO, ENSAIOS LABORATORIAIS E OUTROS.

ALEXANDRA ANCELMO PISCITELLI MANSUR

ENGENHEIRA CIVIL FORMADA PELA UFMG (1997), ESPECIALISTA EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS PELA UFMG (2000), MESTRE EM ENGENHARIA METALÚRGICA E MATERIAIS PELA UFMG (2002) E DOUTORA EM ENGENHARIA METALÚRGICA E MATERIAIS PELA UFMG (2007).

HERMAN SANDER MANSUR

ENGENHEIRO METALURGISTA E MATERIAIS PELA UFMG (1985), MESTRE EM QUÍMICA PELA UFMG (1992), DOUTOR EM QUÍMICA PELA MELBOURNE UNIVERSITY-AUSTRÁLIA/UFMG (1996). PROF. ADJUNTO EM ENGENHARIA E ANÁLISE DE MATERIAIS – UFMG (10 ANOS).

AVALIAÇÃO DE INCRUSTAÇÃO EM TUBULAÇÃO DE PVC
OTAVIO LUIZ DO NASCIMENTO; ALEXANDRA ANCELMO PISCITELLI MANSUR;
HERMAN SANDER MANSUR

NATUREZA DO TRABALHO: PROFISSIONAL

Resumo: *Este trabalho teve como objetivo avaliar as causas de ocorrência de incrustações em tubulações de PVC de esgotamento de águas pluviais e de limpeza do pilotis de edificação. Foram conduzidas análises de difração de raios X, espectroscopia de infravermelho e microscopia eletrônica de varredura para determinação das características mineralógicas e microestruturais dos depósitos formados. As análises revelaram se tratar de depósitos de cristais de carbonato de cálcio. A origem destes depósitos está associada com a dissolução dos carbonatos presentes nas argamassas de rejuntamento e assentamento das cerâmicas do pilotis pelas chuva ácida. Na visita técnica verificou-se a facilidade de infiltração de umidade no revestimento do piso, em função de diversas fissuras e pontos falhos no sistema de revestimento cerâmico. Estes íons dissolvidos pelas águas de infiltração são coletados pelo sistema de impermeabilização sendo conduzidos às tubulações onde por efeito de evaporação, favorecido pelas águas alcalinas oriundas de diversos produtos de limpeza, resultam na precipitação do carbonato de cálcio. Este problema pode ser evitado através de diferentes soluções construtivas, mas para o problema já instalado, a decomposição da calcita pela ação de ácidos pode ser visualizada como uma forma de remover as incrustações consolidadas no interior das tubulações.*

Palavras-chave: *Patologias, Incrustações, Tubulações de PVC, MEV, XRD.*

1. INTRODUÇÃO

O fato gerador deste trabalho foi a ocorrência entupimento em tubulação de água pela presença de incrustações na parede da tubulação. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi identificar as causas da formação das incrustações bem como propor procedimento para solução do problema.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada visita técnica ao local para levantamento das informações sobre a edificação e sobre o problema, além de coleta de amostras. Em laboratório foram realizadas análise das características químicas, mineralógicas e microestruturais das incrustações para identificação da natureza do material.

2. INFORMAÇÕES SOBRE A OBRA E COLETA DA AMOSTRA

As tubulações nas quais foram verificados problemas apresentam as seguintes características:

- Material: PVC série R;
- Diâmetro: 100 e 75 mm;
- Conexões: através de anéis próprios.

A amostra coletada para a análise, corresponde a um pedaço de tubulação vertical retirada no pavimento G (garagem) da edificação. Esta tubulação transporta águas pluviais e águas servidas do pilotis.



Figura 1 – Localização do tubo do qual foi coleta a amostra em estudo.

A amostra fornecida corresponde a um corte da tubulação mostrada na Figura 1, apresentando incrustações da variando entre 2 e 4 mm, em forma de anel ao longo de toda a

superfície da parede do tubo, reduzindo sua seção transversal, conforme mostrado nas Figuras 2 a 4 a seguir.

A partir das imagens pode-se facilmente observar a olho nu que a incrustação foi formada pela deposição de camadas sucessivas de material aparentemente bastante fino e coloração variando entre o bege/marron e o cinza.



Figura 2 – Vista superior da tubulação.



Figura 3 – Vista da superfície do sedimento.



Figura 4 – Detalhe da incrustação.

3. AVALIAÇÕES REALIZADAS

3.1. DIFRAÇÃO DE RAIOS X

- Objetivo: Identificação dos materiais cristalinos presentes na amostra.
- Método de ensaio: difração de raios X (XRD – X Ray Diffraction).
- Equipamento: difratometro PW 1710, da PHILIPS, radiação $k\alpha$ Cu = 1,54056 Å, com 2θ na faixa de 3,51 a 89,91° com passo de 0,06°.
- Preparo das amostras: uma amostra representativa da incrustação,(Figura 5) foi retirada e cominuída para a realização dos ensaios.

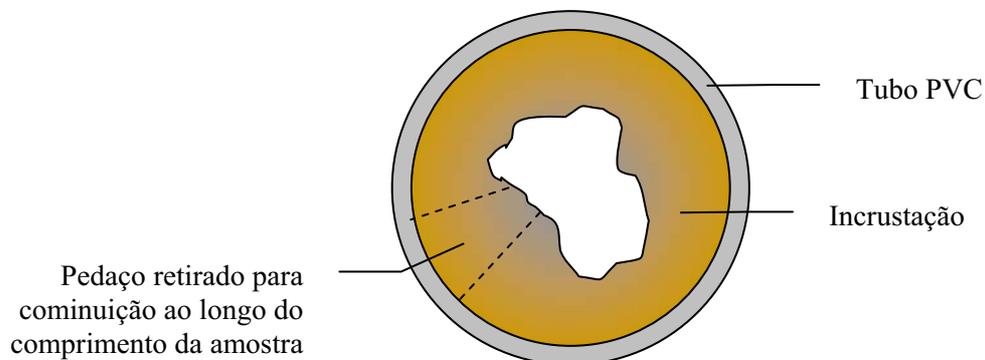


Figura 5 – Desenho esquemático da amostra retirada para avaliação (fora de escala).

▪ Resultados:

O difratograma obtido para a amostra em avaliação está mostrado na Figura 6. O padrão verificado corresponde a um material predominantemente cristalino constituído basicamente por carbonato de cálcio (calcita – CaCO_3)

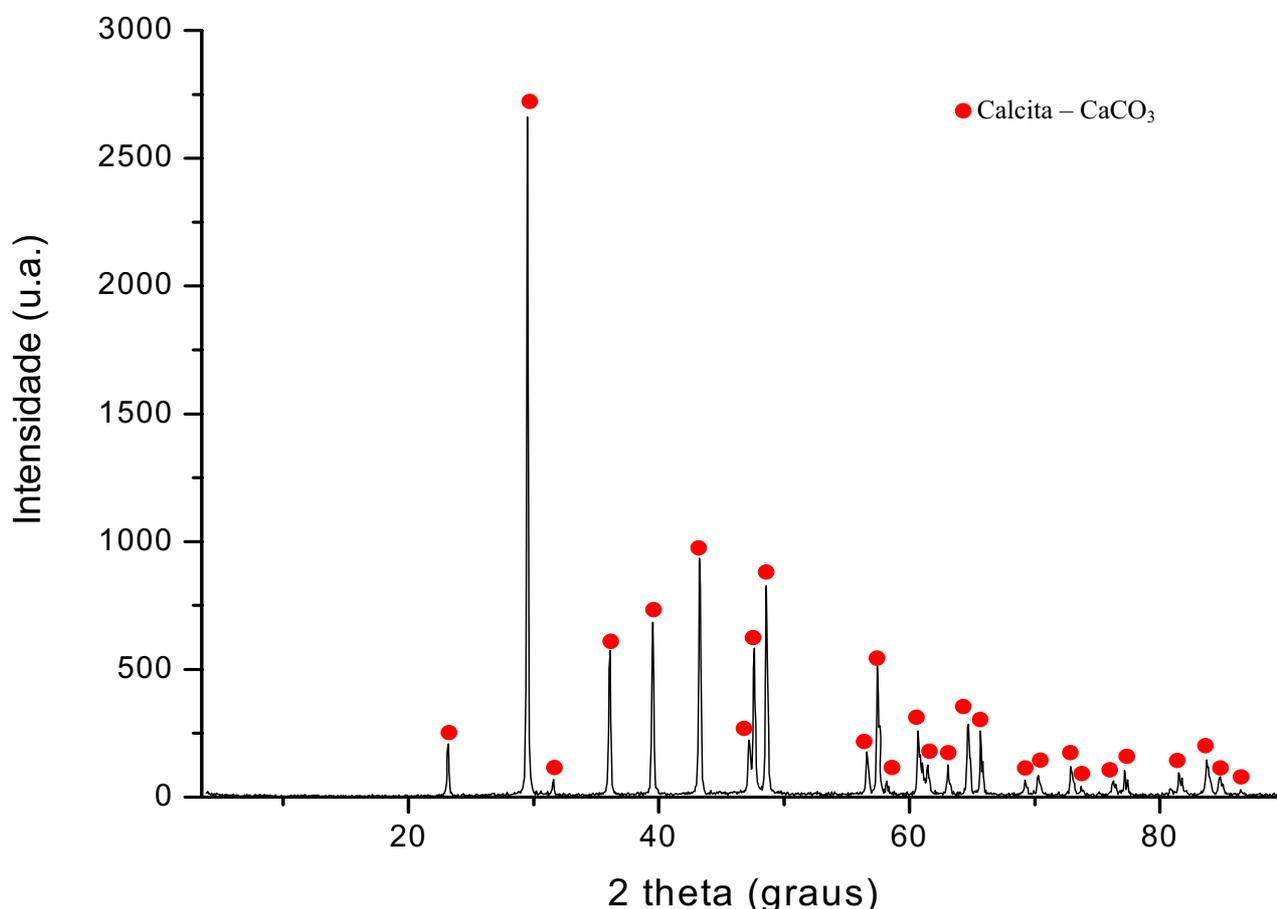


Figura 6 – Difratograma obtido para o material constituinte da incrustação.

3.2. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO

- Objetivo: Identificação dos componentes cristalinos e amorfos constituintes da incrustação.
- Método de ensaio: espectroscopia na região do infravermelho (FTIR – Fourier Transformmed Infrared Spectroscopy) através da técnica de reflexão difusa utilizado KBr como dispersante.
- Equipamento: equipamento Perkin-Elmer Paragon 1000 na faixa de varredura de comprimento de onda de 400 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} , com resolução de 2 cm^{-1} .
- Preparo das amostras: a amostra foi obtida de forma similar à descrita no item anterior sendo misturada com KBr após a sua cominuição.
- Resultados :

A Figura 7 mostra o espectro de infravermelho obtido para a amostra em estudo. Os picos observados, conforme anotado, indicam a presença predominante de calcita (713 cm^{-1} , 875 cm^{-1} , $1422\text{-}1497\text{ cm}^{-1}$, 1793 cm^{-1} e 2516 cm^{-1}), já identificada através de difração de raios

x, sendo também observados picos associados ao quartzo (1085 cm^{-1} , 1166 cm^{-1} e 2132 cm^{-1}), materiais argilosos (1012 cm^{-1} , 1037 cm^{-1} , 1085 cm^{-1} , 3626 cm^{-1} , 3647 cm^{-1} e 3697 cm^{-1}), compostos orgânicos (2870 cm^{-1} e 2974 cm^{-1}) e água ($3200\text{-}3570\text{ cm}^{-1}$).

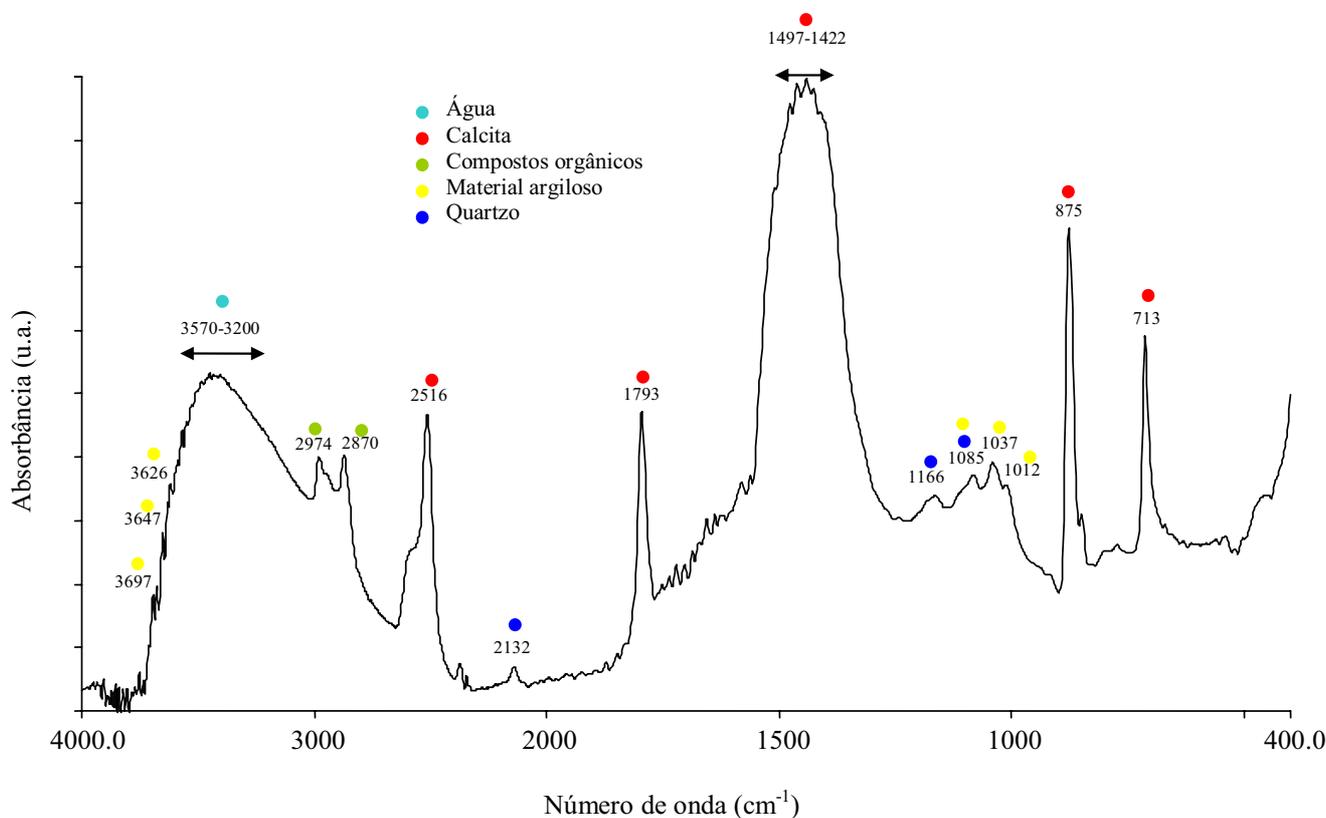


Figura 7 – Espectro de infravermelho para a amostra em avaliação.

3.3. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA ACOPLADA COM ESPECTROSCOPIA DE ENERGIA DE ELÉTRONS.

- Objetivo: avaliação microestrutural da amostra com obtenção de análise química elementar.
- Método de ensaio: Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM – Scanning Electron Microscopy) com Espectroscopia de Energia de Elétrons (EDS – Electrons Dispersive Spectrometry)
- Equipamento: equipamento JSM 6360LV, Jeol/Noran.
- Preparo das amostras: dois pedaços da incrustação, um de coloração cinza e outro de coloração bege/marrom foram retirados da amostra e recobertos com ouro para tornar a superfície da amostra condutora.
- Resultados:

Imagens obtidas da parte da incrustação de coloração cinza estão mostradas nas Figuras 8 a 12. Nestas fotomicrografias, o aumento da ampliação revela a passagem de uma estrutura de textura suave para um material particulado de dimensões da ordem de $2,5\text{ }\mu\text{m}$ recoberto com um material de granulação ainda mais fina (Figura 12).

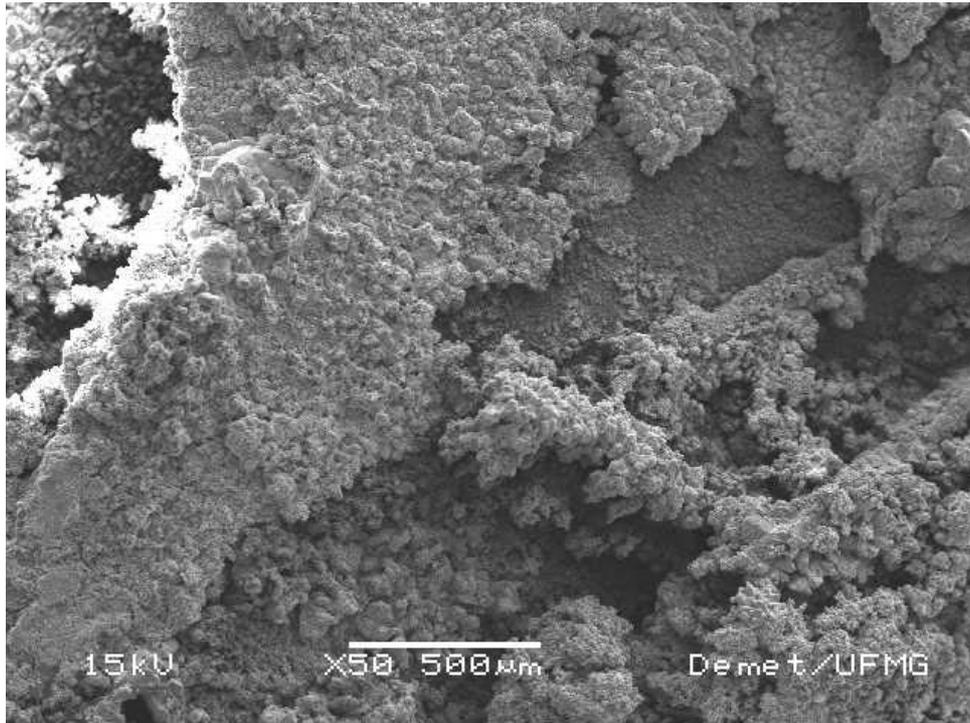


Figura 8 – Fotomicrografia da região de coloração cinza (50X, elétrons secundários).

Os espectros de EDS obtidos a partir de análise geral sobre o material (Figura 9) ou diretamente sobre uma partícula (Figura 12) mostraram composição química bastante homogênea ao longo da amostra. Foram observados maiores teores de átomos de cálcio e oxigênio, o que está de acordo com as análises previamente realizadas que identificaram o carbonato de cálcio como o principal componente da amostra. Outros elementos foram observados em menores quantidades, a saber, Mg, Al, Si, Fe e S, sendo que os quatro primeiros entram na composição dos materiais argilosos, detectados a partir da espectroscopia de infravermelho.

Considerando a morfologia, a composição química e mineralógica da amostra e o conhecimento prévio de que se trata de um material cristalino, pode-se afirmar que as partículas observadas com aumento de 6000X tratam-se de cristais de calcita (carbonato de cálcio).

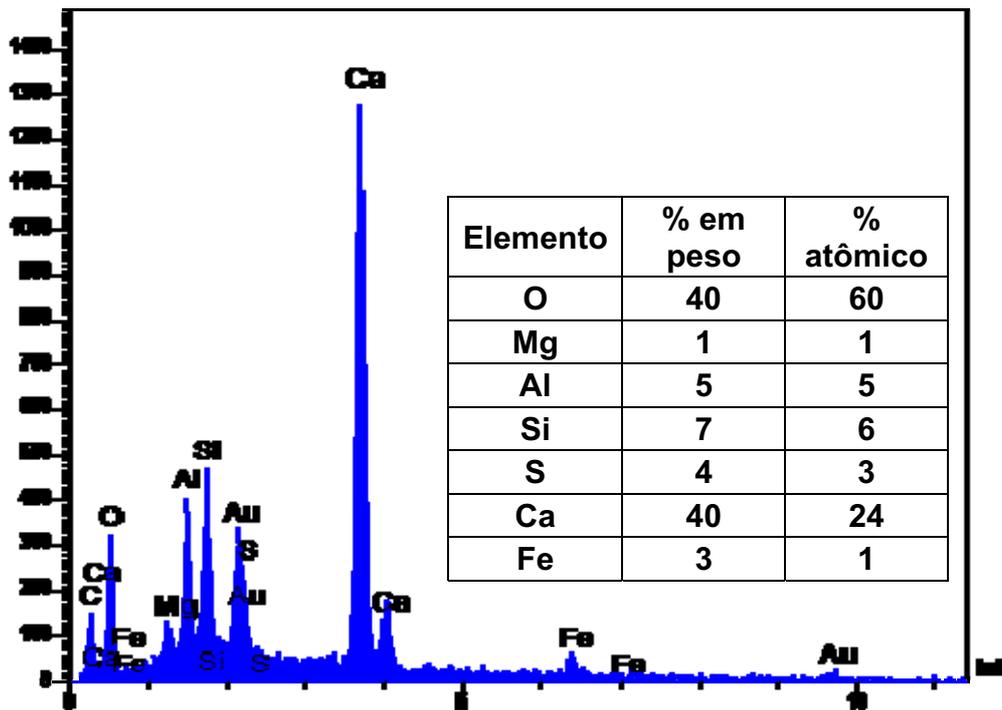
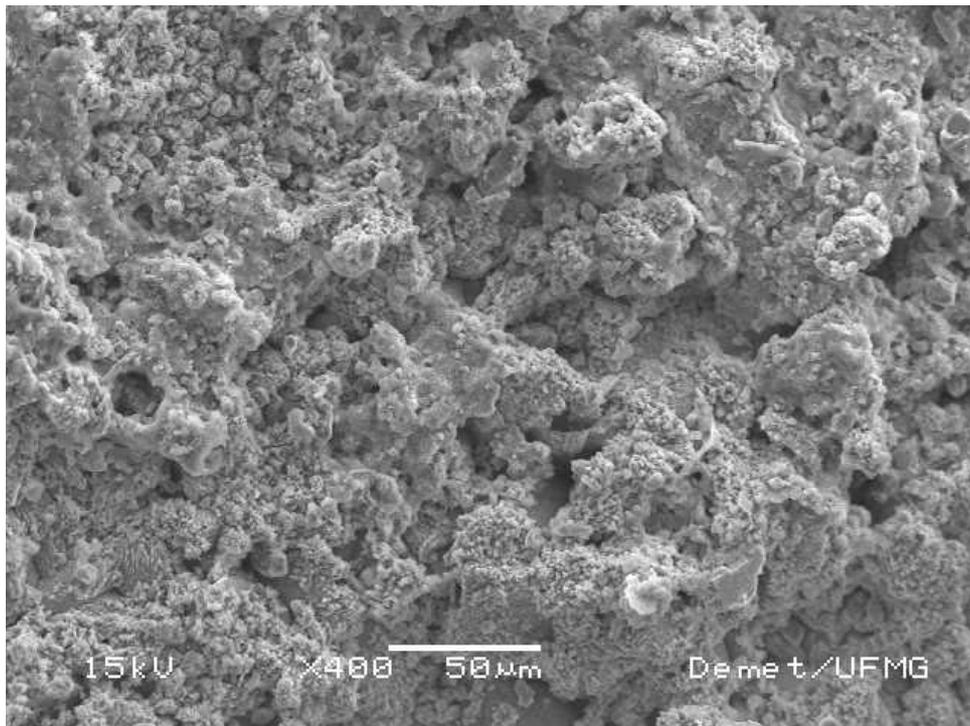


Figura 9 – Fotomicrografia da região de coloração cinza (400X, elétrons secundários) com o espectro de EDS obtido para uma análise geral sobre a região.

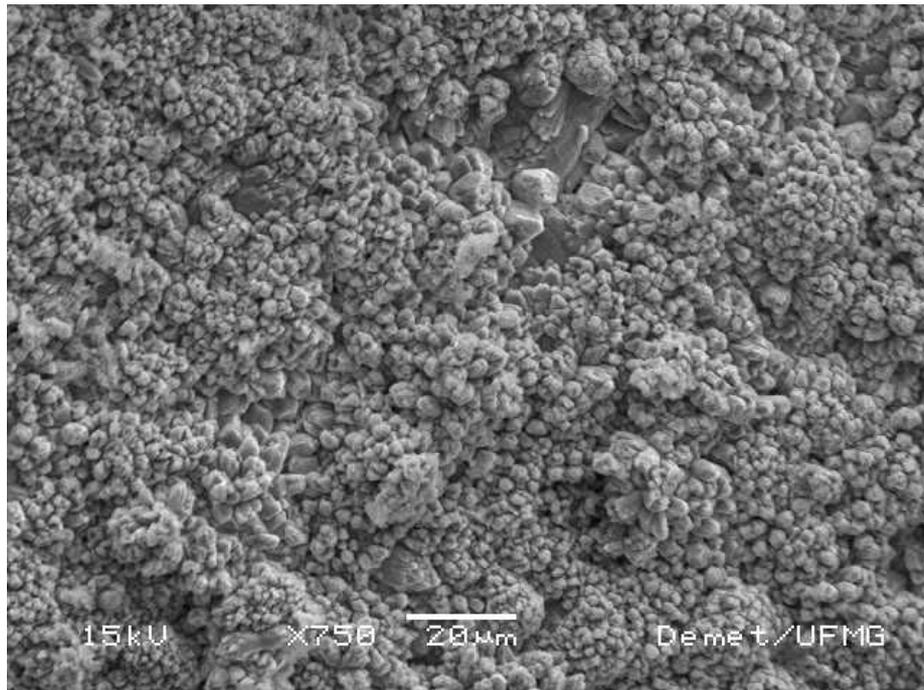


Figura 10 – Fotomicrografia da região de coloração cinza em ampliação de 750X (elétrons secundários)

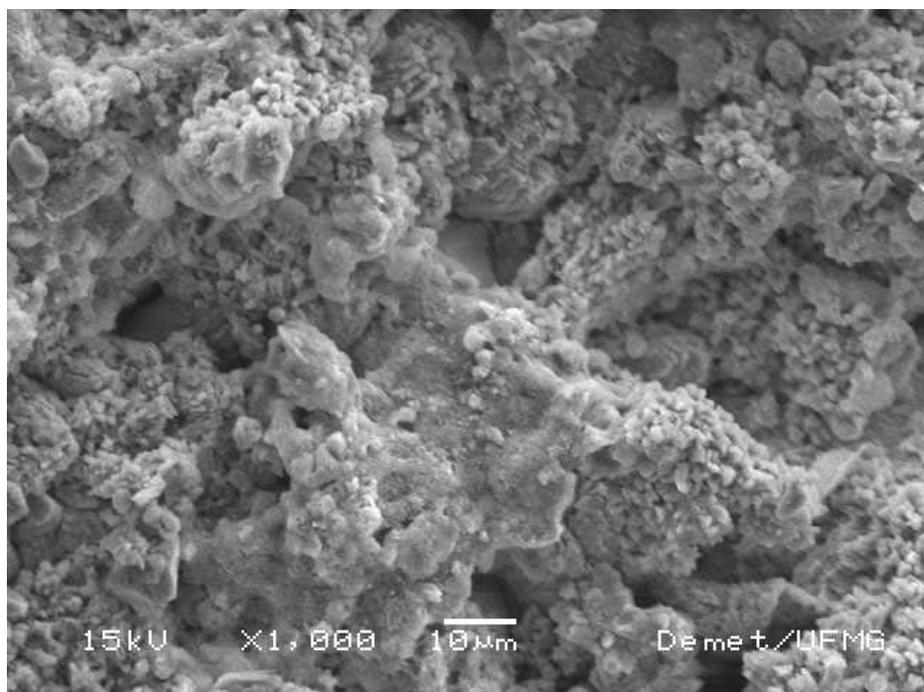


Figura 11 – Imagem de elétrons secundários para a amostra de cor cinza (1000X).

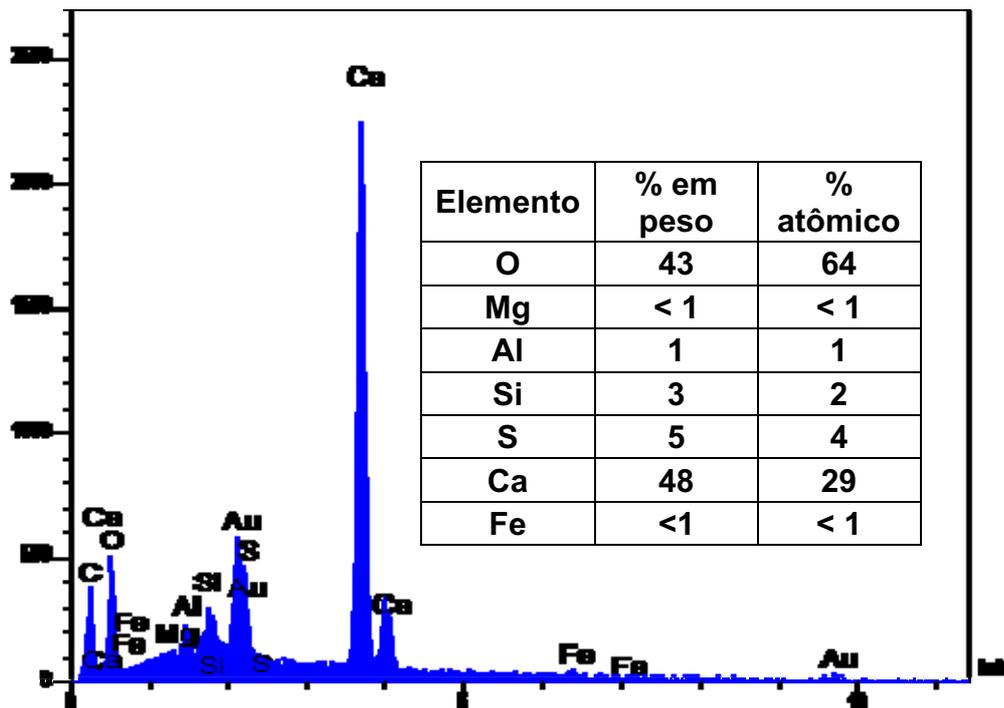
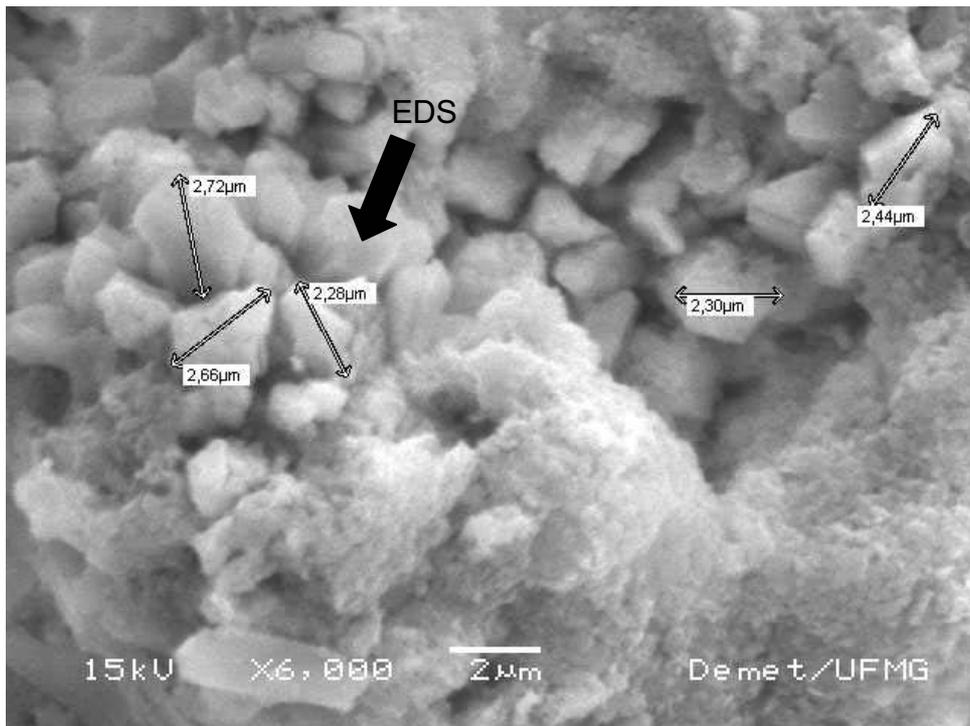


Figura 12 – Fotomicrografia da região de coloração cinza (6000X, elétrons secundários) com o espectro de EDS obtido para análise realizada sobre partícula.

Fotomicrografias obtidas a partir da amostra de coloração bege/marrom estão mostradas a seguir (Figuras 13 a 17). As imagens, desde a menor ampliação (50X, Figura 13) até a ampliação de 1000X (Figura 16) revelam uma estrutura particulada, com partículas de tamanho da ordem de 30 µm (Figura 14). Na Figura 17, em que se observa o material com um

aumento de 6000X, o que se vê é a superfície de uma das partículas, podendo ser identificada uma camada levemente descontínua recobrindo a partícula.

Os resultados de EDS geral sobre a amostra (Figura 14) ou localizado sobre a partícula (Figura 16) mostraram-se bastante similares entre si e em relação aos resultados obtidos para a amostra cinza, com cálcio e oxigênio como principais componentes do material e menores teores de magnésio, alumínio, silício, enxofre e ferro.

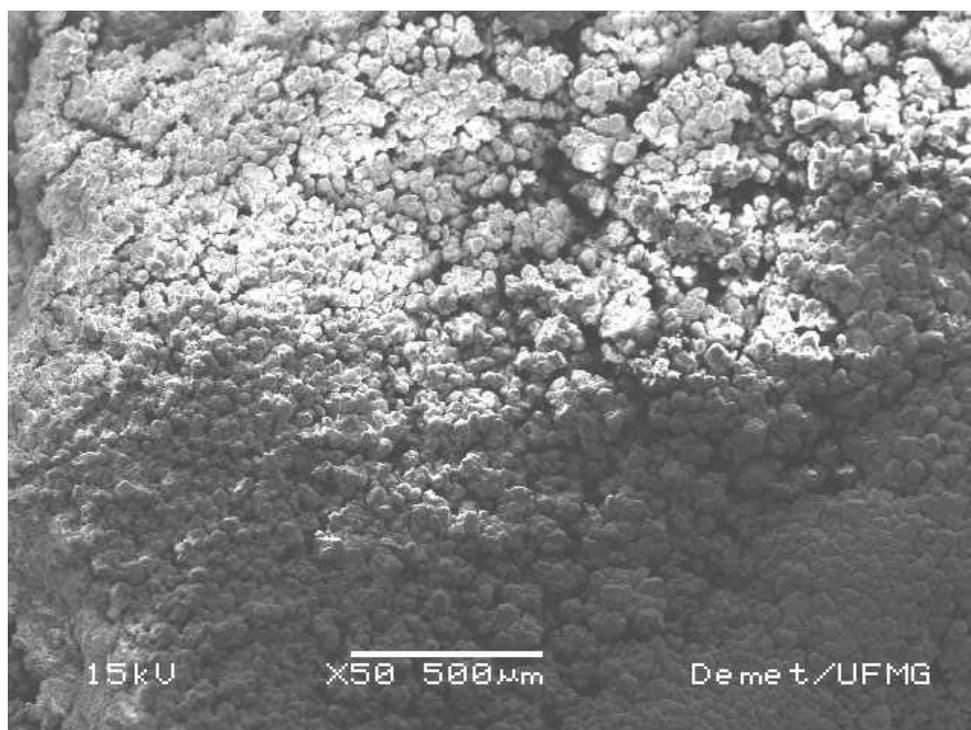


Figura 13 – Fotomicrografia da região de coloração bege/marrom (50X, elétrons secundários).

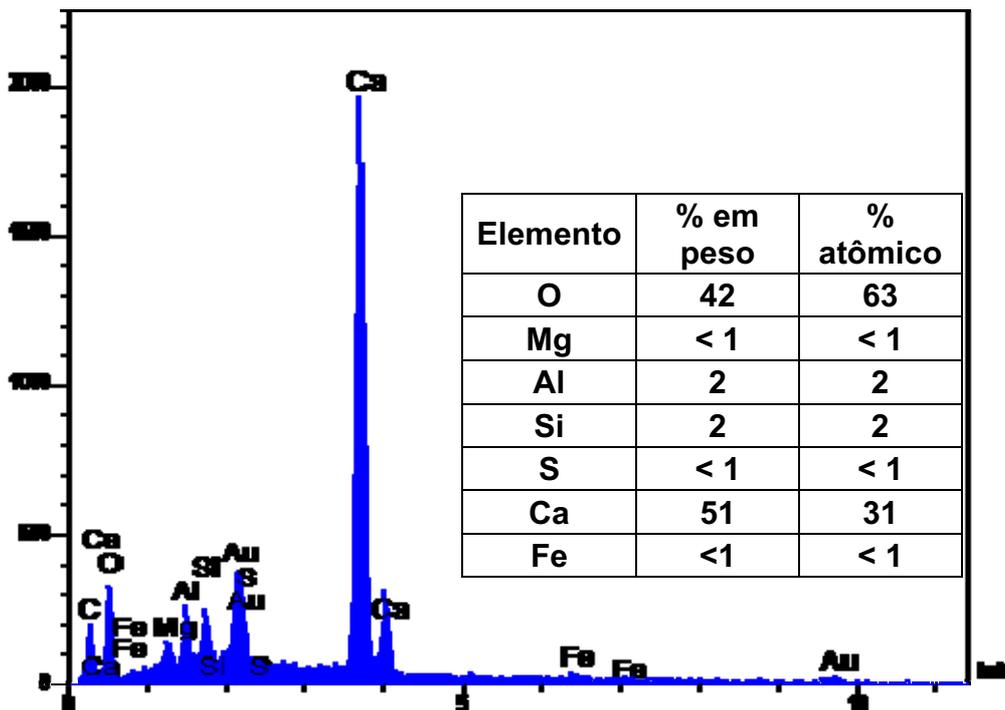
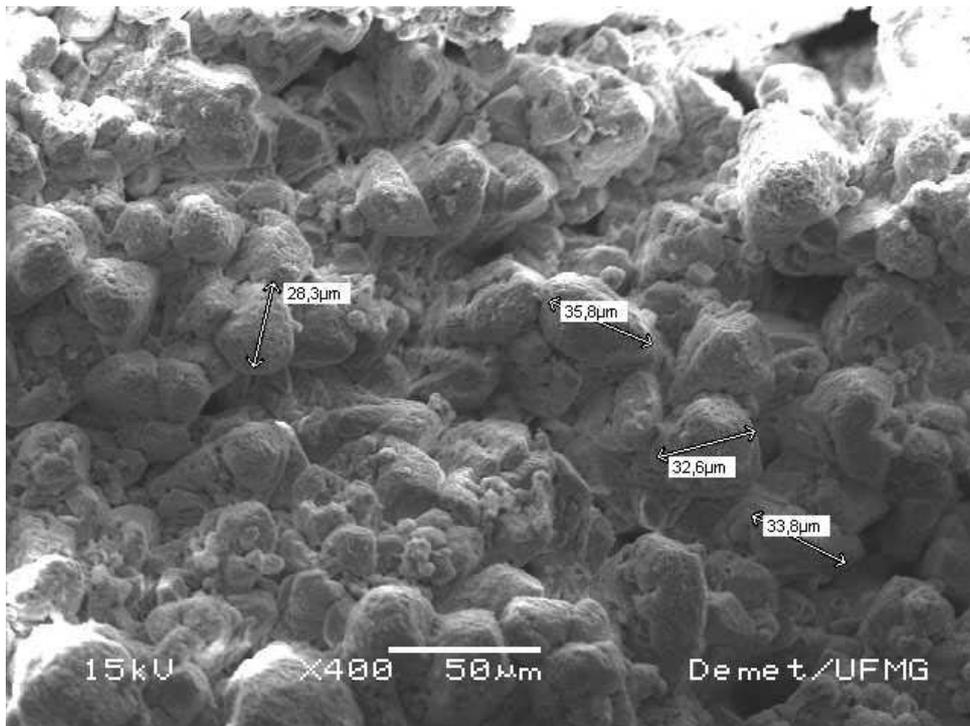


Figura 14 – Fotomicrografia da região de coloração bege/marrom (400X, elétrons secundários) com o espectro de EDS obtido para uma análise geral sobre a região.

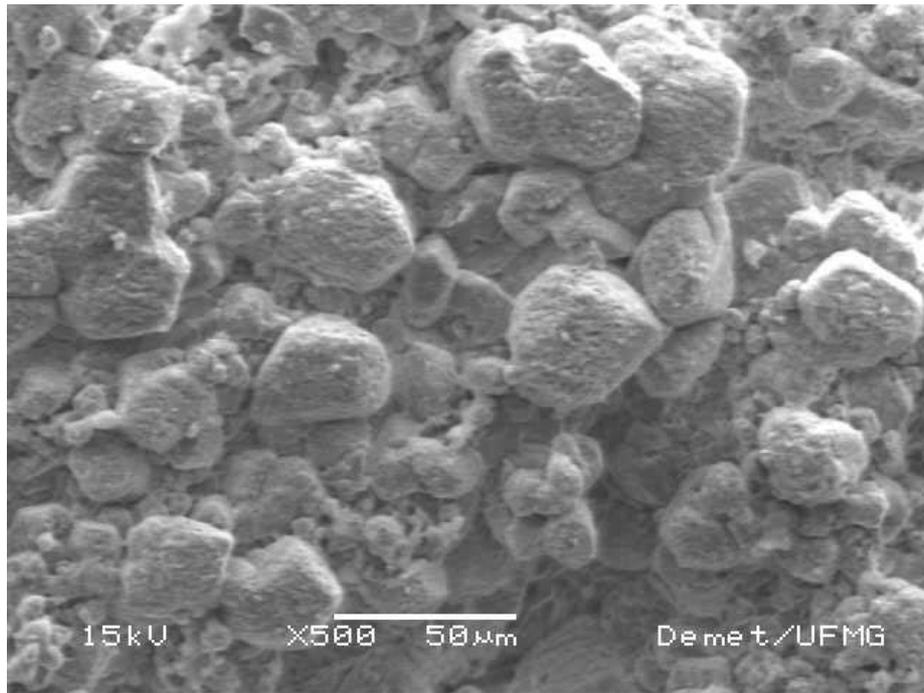


Figura 15 – Imagem de elétrons secundários para a amostra de cor marrom./bege (500X).

Desta forma, considerando que ambas as amostras apresentam-se bastante similares no que diz respeito à composição química, acredita-se que as diferenças verificadas, a olho nu na coloração e, no nível microestrutural, no tamanho e morfologia dos grãos, esteja relacionada com diferentes condições existentes no momento de formação de cada uma das camadas, não indicando diferença nos materiais envolvidos.

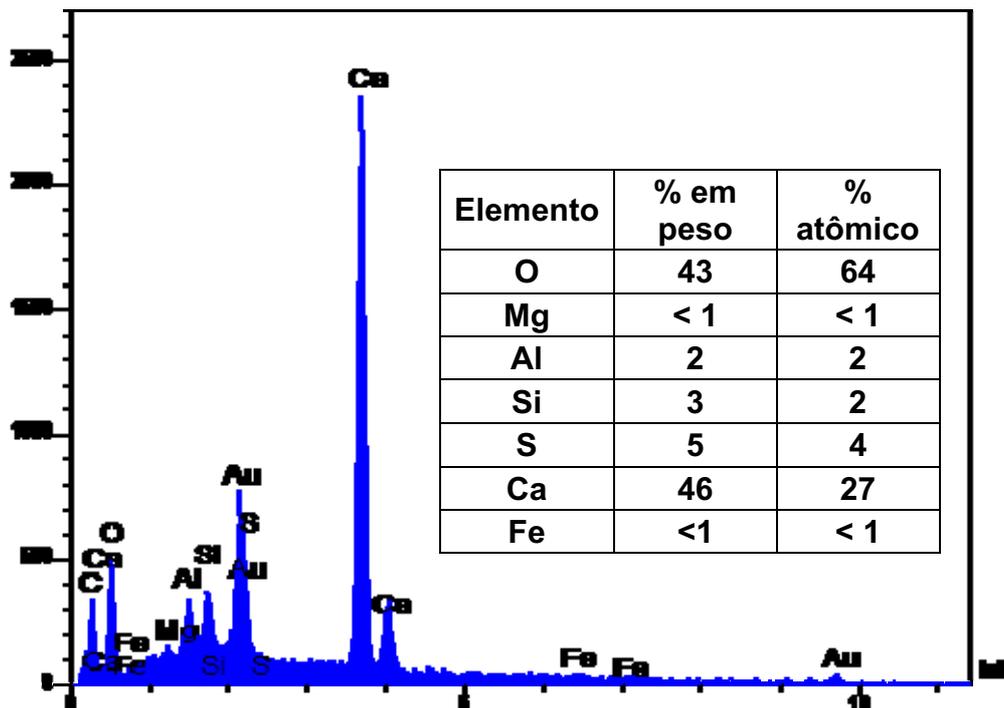
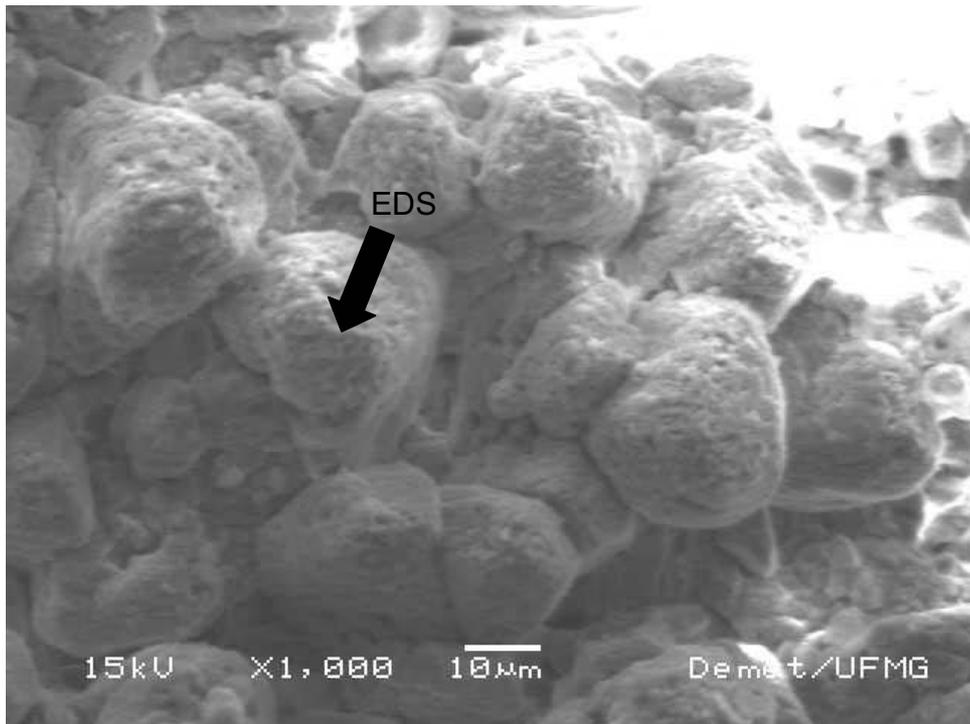


Figura 16 – Fotomicrografia da região de coloração bege/marrom (1000X, elétrons secundários) com o espectro de EDS obtido para análise realizada sobre partícula.

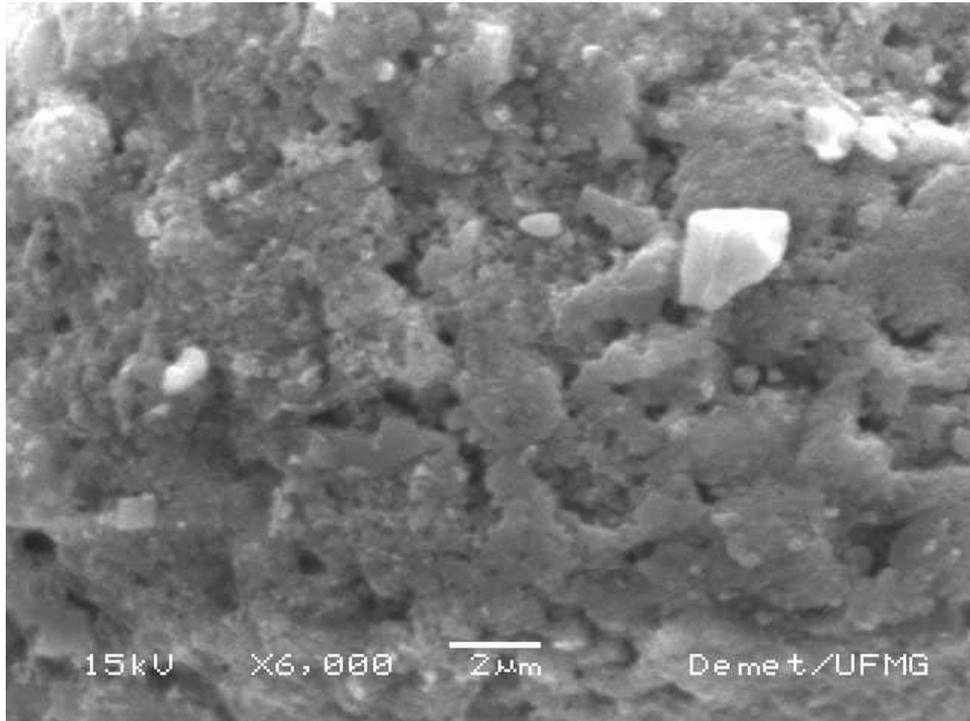


Figura 17 – Fotomicrografia da região de coloração bege/marrom (6000X, elétrons secundários).

3.4.SISTEMA CONSTRUTIVO

Conforme descrito anteriormente, as tubulações comprometidas coletam águas pluviais e de limpeza do pilotis, em uma região exposta diretamente ao intemperismo, na região da piscina.

O sistema de revestimento desta área é composto pela laje, seguida de uma camada de argamassa de regularização sobre a qual foi aplicada uma manta. Segue-se uma camada argamassada de proteção mecânica sobre a manta de impermeabilização que foi utilizada como base para aplicação do revestimento cerâmico.

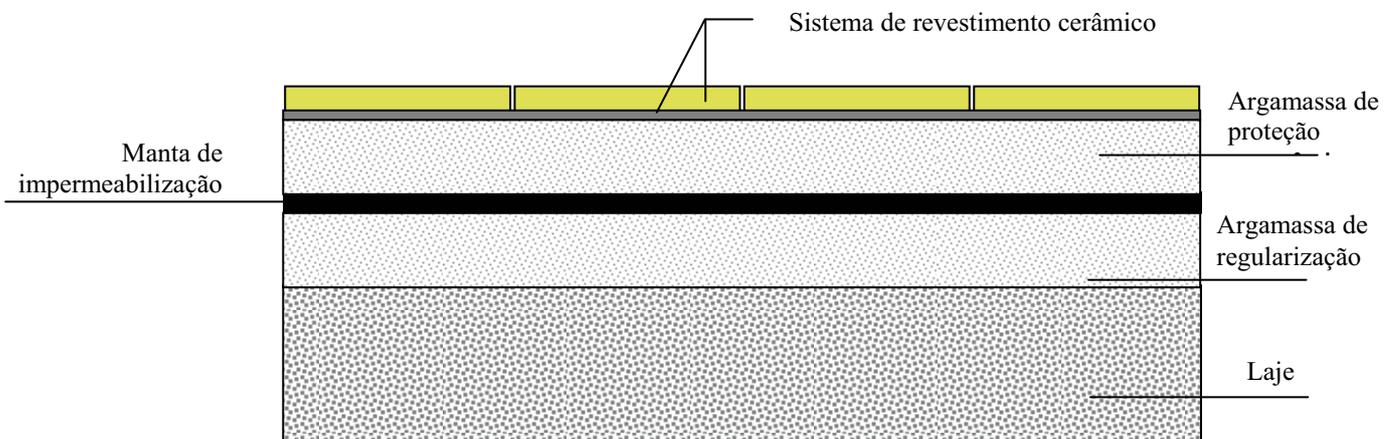


Figura 17 – Desenho esquemático do piso do pilotis.

Em visita realizada ao deck da piscina (Figura 18), foi possível identificar que o revestimento cerâmico utilizado apresenta formatos aproximados de 10 x 20 cm e 5 x 20 cm. As juntas entre as peças cerâmicas (juntas de assentamento) foram preenchidas com material cimentício, tendo espessura da ordem de 1 a 1,5 cm. Foram observadas, ainda, juntas preenchidas com selante que, em função da sua disposição, podem ser associadas a juntas de movimentação (não foram avaliadas características destas juntas para se poder afirmar que são realmente juntas de movimentação).

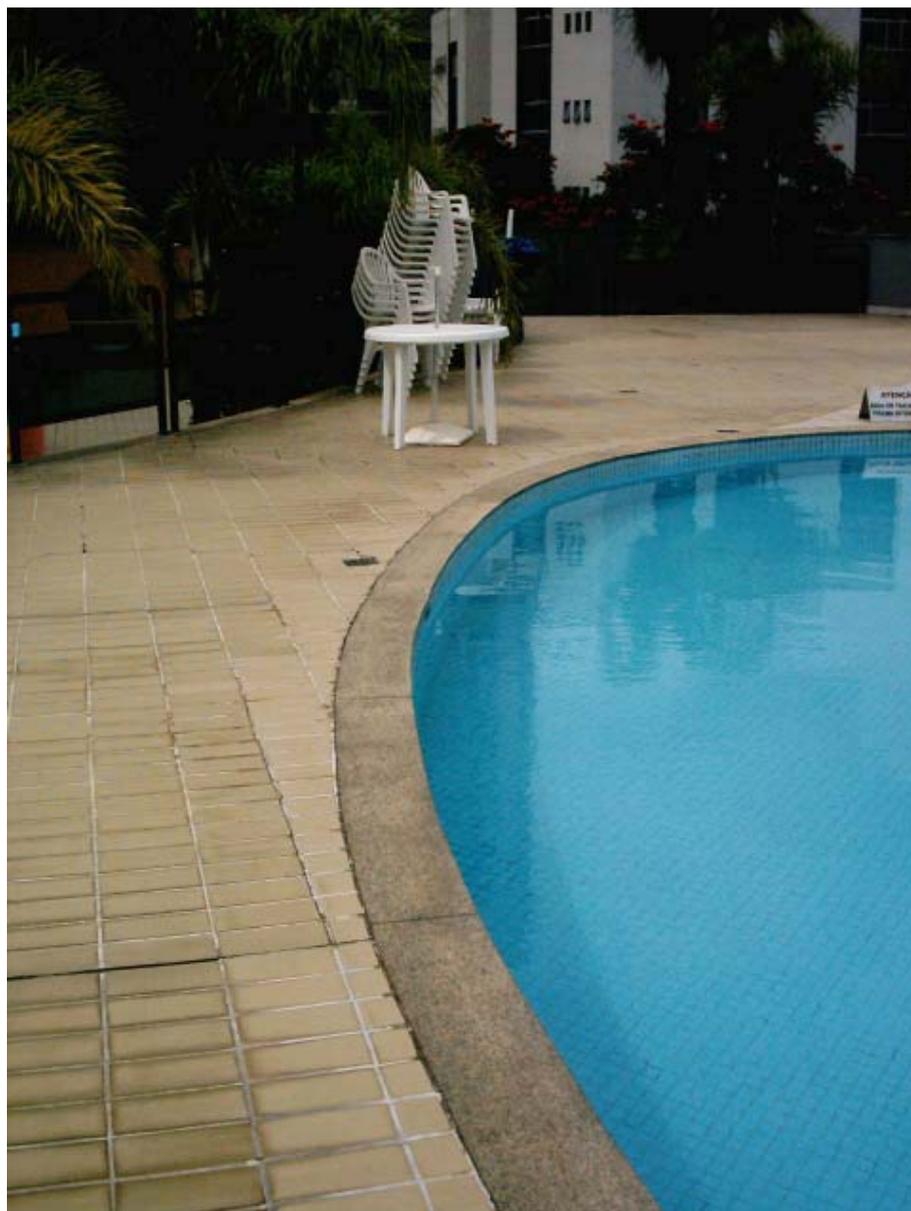


Figura 18 – Vista geral do deck da piscina.

Em um ralo, localizado nesta região, foi possível observar a formação de crostas no interior da tubulação, similares às verificadas na amostra coletada para análise.



Figura 19 – Ralo localizado próximo à piscina em que se observa a ocorrência de incrustações no interior da tubulação.

Foi possível observar que a região do deck sofreu alguma movimentação que resultou na ruptura de alguns pontos da argamassa de rejuntamento entre as placas (Figura 20) e do selante das “juntas de movimentação” (Figura 21), bem como na trinca de placas de revestimento (Figura 22).



Figura 20 – Trincas e ruptura da argamassa de rejuntamento



Figura 21 – Ruptura de “junta de movimentação.



Figura 22 – Fissura de movimentação sobre as placas cerâmicas.

Além disso, verificou-se que a argamassa de rejuntamento, apresenta-se desgastada/erodida, com pontos falhos e irregularidade de cores (Figura 23).



Figura 23 – Pontos falhos, erosão e mudança de cor da argamassa de rejuntamento.

No piso de elevação inferior, que dá acesso ao deck, foi observada a presença de eflorescências, características da ocorrência de infiltração de águas em sistemas cimentícios solubilizando e carreando sais solúveis que se precipitam e cristalizam após a evaporação da água (Figura 24).

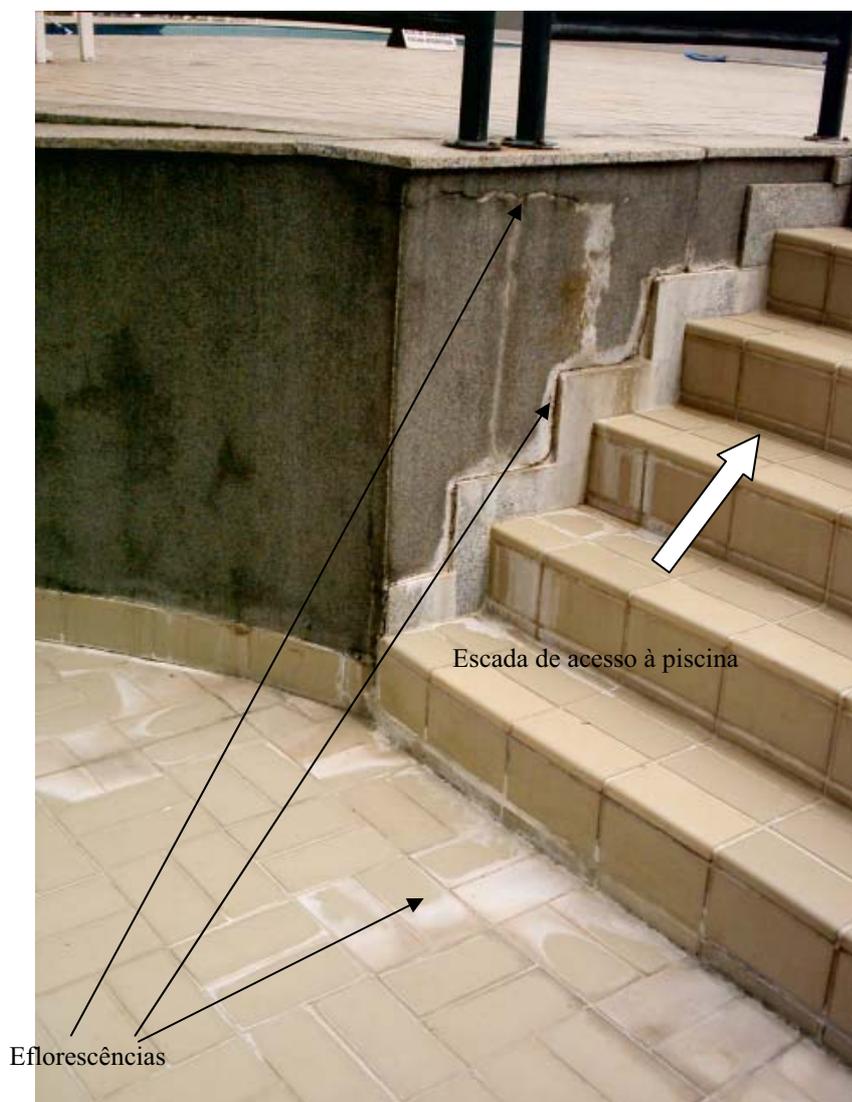


Figura 24 – Presença de eflorescências na região de acesso ao deck da piscina denunciando infiltração de água pelo sistema de revestimento.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a incrustação observada, reduzindo a vazão da tubulação, trata-se de uma precipitação de carbonato de cálcio.

A formação de crostas de sais em tubulações, chuveiros, aquecedores, dentre outras instalações hidráulicas, é um problema frequentemente observado em situações em que a água

transportada pela instalação apresenta elevados teores de cálcio e magnésio dissolvidos (água dura).

Na situação em estudo propõe-se o seguinte mecanismo possível para formação dos depósitos no interior dos tubos.

A chuva natural, não poluída, é em si um pouco ácida, devido à presença do gás carbônico natural, que, ao se dissolver na umidade atmosférica, gera o ácido carbônico através da seguinte reação:



O ácido carbônico é ligeiramente fraco e se dissocia parcialmente ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$) resultando em um pH para a chuva da ordem de 5,6. O pH da chuva pode-se tornar ainda mais ácido ($< 5,6$) pelos efeitos da presença de ácido sulfúrico, seja originário do metabolismo de algas planctônicas ou seja decorrente da queima de combustíveis, e do ácido nítrico, também decorrente, principalmente, da queima de combustíveis fósseis (região industrial e metrópoles).

O ácido carbônico presente na chuva ácida, em contato com materiais que apresentam calcário (mármore, travertinos, dolomitos, pastas de cimento, argamassas, concretos) na sua composição lixivia os carbonatos, promovendo sua desagregação e dissolução formando o bicarbonato de cálcio.



Este bicarbonato é solúvel e pode ser transportado para as tubulações durante o escoamento das águas pluviais ou pela lavagem para limpeza dos pisos (é interessante observar que os teores de Ca/Mg em solução poderão ser ainda maiores em função da dureza da água local).

No caso sem estudo, além do ataque às argamassas de preenchimento das juntas de assentamento, que ocupam grande área da superfície do piso, em função das pequenas dimensões das placas cerâmicas, as falhas nas juntas e trincas no piso favorece a entrada de água para o interior do sistema de revestimento permitindo o ataque das argamassas de assentamento da cerâmica e proteção mecânica da impermeabilização. Esta água infiltrada, carregando bicarbonatos, é conduzida para os ralos pelas mantas de impermeabilização

Estes bicarbonatos sendo transportados para as tubulações são susceptíveis à depositar-se nas paredes das instalações, especialmente pela ação do calor (instalações de água quente), por evaporação ou pela ação de substâncias alcalinas, como as observadas em diversos produtos de limpeza, incluindo a água sanitária (pH elevados da ordem de 13).

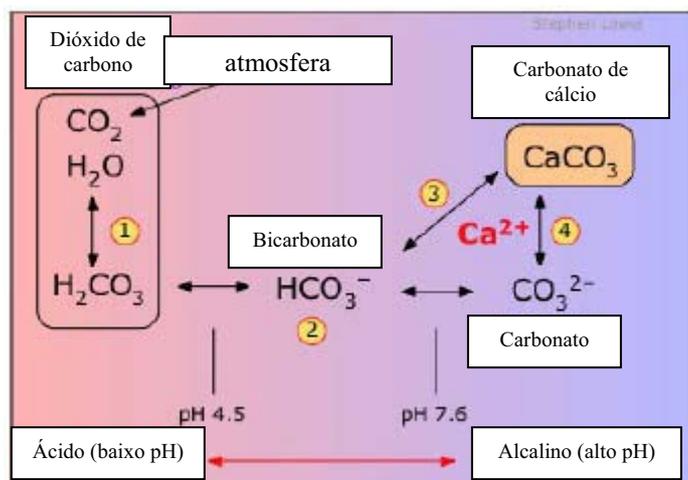


Figura 25 – Processo químico de dissolução e precipitação do CaCO_3 .

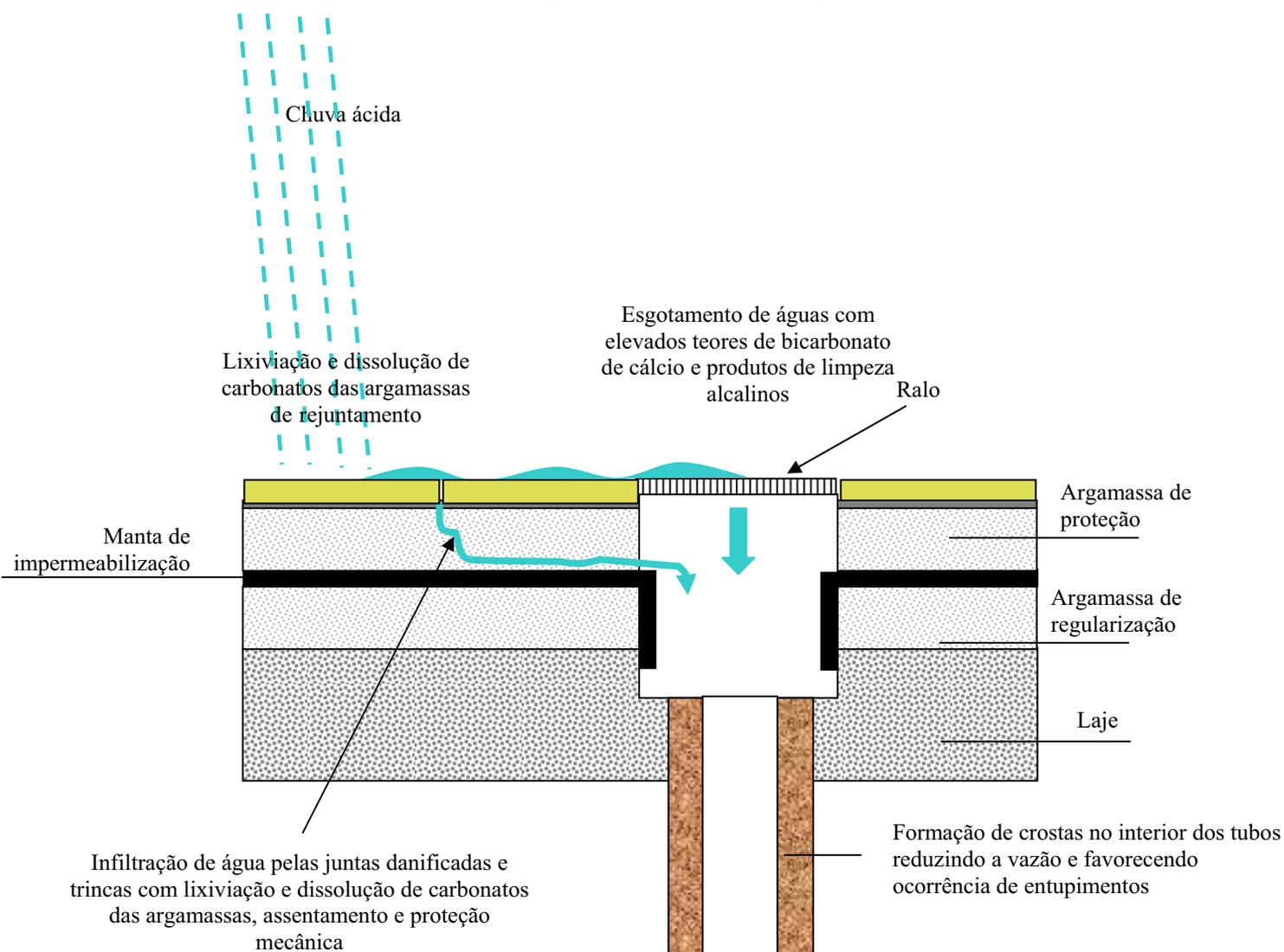


Figura 26 – Modelo esquemático do mecanismo de desenvolvimento de incrustações em tubulações no caso em estudo.

A origem dos outros materiais observados na composição da incrustação, argilas e materiais orgânicos, está na própria água. Argilas e material orgânico encontram-se em suspensão na água e se depositaram na superfície rugosa definida pelas incrustações, durante sua passagem pela tubulação.

A partir destas constatações, propostas de ações podem ser tomadas em novas edificações no sentido de minimizar a ocorrência do problema verificado:

- Especificação adequada dos materiais utilizados como revestimentos em áreas expostas ao intemperismo;
- Evitar agregados calcários em argamassas;
- Utilizar materiais para rejuntamento poliméricos;
- Reduzir a área de juntas de assentamento nos pisos, pela adoção de placas de revestimento de maiores dimensões;
- Elaboração de um projeto de revestimento completo prevendo juntas de assentamento com dimensões adequadas e juntas de movimentação e dessolidarização com dimensões adequadas, impermeabilizadas, nas regiões de maiores concentrações de tensão e corretamente preenchidas com corpo flexível e selante;
- Controle da água de abastecimento, especialmente da sua dureza, adotando, se necessário, tratamentos capazes de reduzir a concentração das substâncias dissolvidas;
- Controle dos materiais utilizados na limpeza dos pisos e demais revestimentos. Estes materiais podem tanto atacar os materiais utilizados quanto favorecer a formação de incrustações em tubulações.

5. CONCLUSÕES

O material analisado, oriundo de incrustação em tubulação, é predominantemente carbonato de cálcio (CaCO_3) decorrente da sedimentação e precipitação de íons e partículas da água coletada, não correspondendo a cimento, argamassa ou concreto.

6. AÇÃO CORRETIVA/SOLUÇÃO PROPOSTA PARA DESBLOQUEIO

Para o problema já ocorrido, a decomposição do carbonato de cálcio (calcita) pela ação de ácidos pode ser visualizada como uma forma de dissolver e remover as incrustações atualmente presentes no interior das tubulações.

Na Figura 27, é possível verificar a efervescência de um pedaço do material incrustado na tubulação (I) enviada até a sua completa dissolução em ácido clorídrico (HCl) (II).

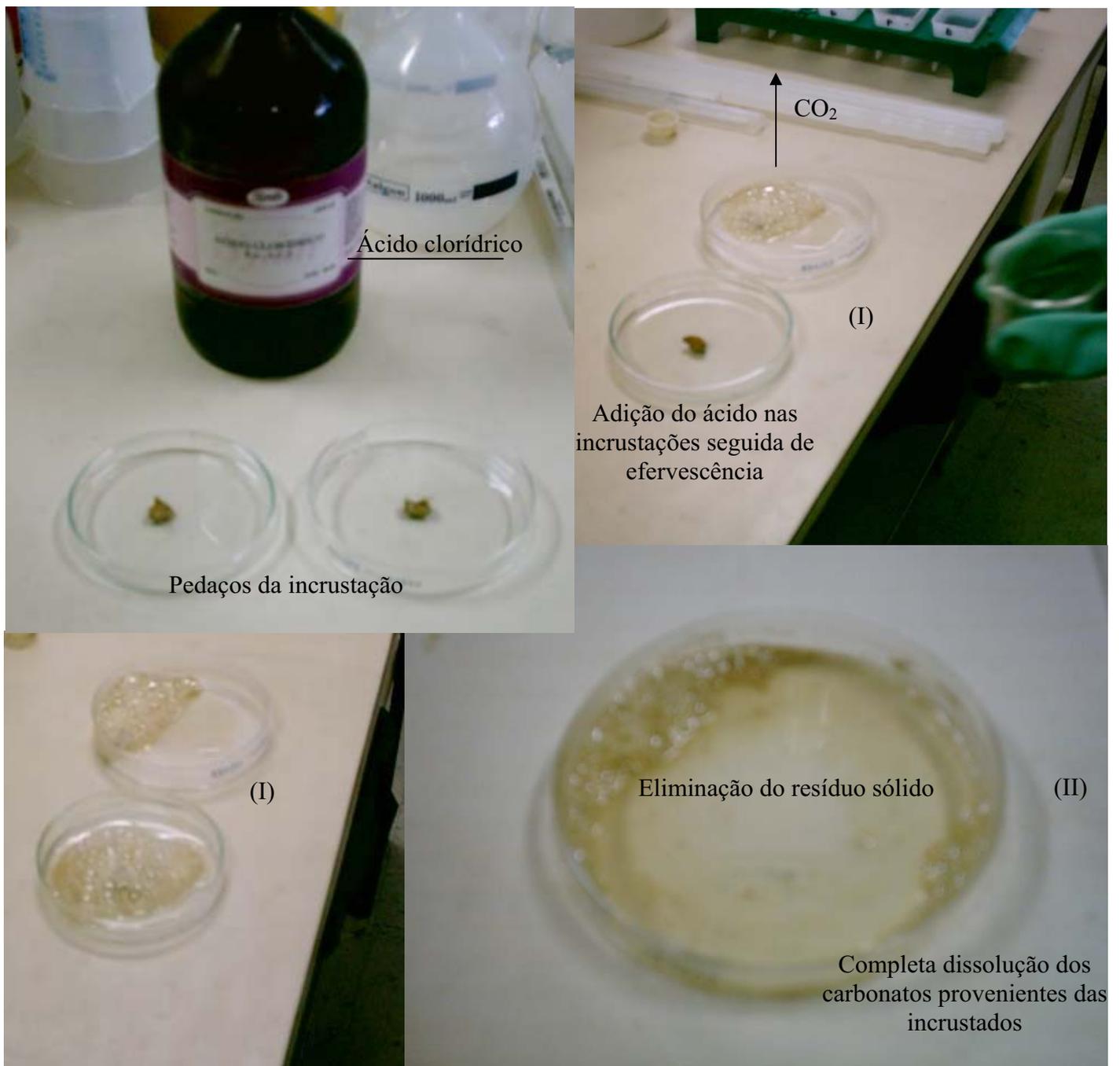


Figura 27 – Processo de dissolução de pedaços da incrustação em ácido clorídrico.

É importante observar que o uso desta alternativa de remoção de incrustações deve ser adequadamente planejado e testado antes da sua implantação. De modo geral, tubos de PVC apresentam elevada resistência aos ácidos, mas todo o sistema que estará em contato com a solução ácida deverá ser avaliado quanto a sua resistência. Além disso, o uso deste sistema demanda cuidado no manuseio e necessidade de equipamentos de segurança (luvas, botas, óculos, máscaras, dentre outros).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

FARMER, V.C. **The Infrared Spectra of Minerals**. London: Adlard & Son Ltd., 1974.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimento: Estudos e Procedimentos de Execução**. São Paulo: Editora Pini Ltda., 1994.

GOLDBERG, R. P. **Directed Adhered Ceramic Tile, Stone & Thin Brick Facades – Technical Manual**. LATICRETE International, Inc., 1998.

JCPDS – INTERNATIONAL CENTRE FOR DIFFRACTION DATA. **PCPDFWIN v. 2.2**. 2001

MAREL, H. W. VAN DER e BEUTELSPACHER, H. **Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and their admixtures**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, Inc., 1976.