

Análise por microscopia em argamassa devido à ação de sais solúveis nos Municípios de Juazeiro BA / Petrolina PE

Alan Christie da Silva Dantas Dr.¹, Bruno Marinho Calado MSc.²

Resumo

A argamassa de revestimento é muito importante para a indústria da construção civil, possuindo funções que variam conforme a sua aplicação. Um dos materiais utilizados na produção da argamassa é o agregado, e sua principal função é conferir resistência e durabilidade. Tanto os efeitos físicos como os efeitos químicos podem influenciar de forma negativa na durabilidade de concretos e argamassas, causando o aparecimento de patologias graves. Na região do Vale do São Francisco as patologias nas estruturas das edificações tem sido um problema bastante comum. Estudos relacionados ao uso de aditivos, buscando melhorar algumas propriedades mecânicas das argamassas começam a se desenvolver, como é o caso dos impermeabilizantes. A função principal desses impermeabilizantes, é fornecer

à argamassa uma maior proteção às patologias nocivas. Neste sentido, esse trabalho teve como objetivo analisar as propriedades mecânicas de corpos de prova produzidos com dois tipos de agregados miúdos, após 180 dias em que estes foram submetidos a diferentes tipos de acondicionamento que favorecem o aparecimento de patologias devidas à ação de sais solúveis, analisando o desempenho no uso de impermeabilizantes. Após as análises constatou-se que o uso de impermeabilizantes propiciou um ganho de resistência apenas nos primeiros dias de exposição, sem inibir a formação de cristais característicos da etringita, que é um fator nocivo à argamassa.

Palavras-chaves: Construção Civil, Patologia de Materiais, Argamassa, Inspeção Predial, Sais Solúveis.

¹ORCID (0000-0002-2357-5427), Universidade Federal do Vale do São Francisco, Coordenação de Engenharia Mecânica. E-mail: alancsd@gmail.com

²ORCID (0000-0003-3416-8314), Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Coordenação de Edificações, E-mail: bruno.calado@ifsertao-pe.edu.br

Mortar microscopy analysis due to the action of soluble salts in Juazeiro BA / Petrolina PE - Brazil

Abstract

The coating mortar is very important for the construction industry, having functions that vary according to its application. One of the materials used in the production of mortar is the aggregate, and its main function is to provide strength and durability. Both physical and chemical effects can influence negatively the durability of concrete and mortar, causing the appearance of serious pathologies. In the São Francisco Valley region, pathologies in building structures have been a very common problem. Studies related to the use of additives, seeking to improve some mechanical properties of mortars to develop, such as waterproofing. The main function of these waterproofing products is to provide the mortar with greater protection against harmful pathologies. In this sense, this work aimed to analyze the mechanical properties of specimens with two types of sands, after 180 days in which they were different types of packaging that favor the appearance of pathologies due to the action of soluble salts, analyzing the performance in the use of waterproofing. After the analysis, it was found that the use of waterproofing agents provided a resistance gain only in the first days of exposure, without inhibiting the formation of crystals characteristic of Etringite, which is a harmful factor in mortar.

Keywords: Civil Construction, Materials Pathology, Mortar, Building Inspection, Soluble Salts.

1. Introdução

A falta de conhecimento da composição química das argamassas e das consequências de alteração da sua composição por

agentes químicos deletérios (danosos ou agressivos) tem ocasionado muitos problemas no pós obra com o aparecimento de danos físicos e perda de propriedades relevantes que reduzem a vida útil da própria argamassa e do conjunto da edificação. A busca por soluções empíricas, muitas vezes orientadas por profissionais sem conhecimento técnico e tudo baseado em dados de experiências sem comprovação de êxito levam à recorrência dos danos com perda de recursos financeiros e risco à saúde.

Este quadro refere-se a muita aplicabilidade no município de Petrolina, situado no Sertão Pernambucano, às margens do Rio São Francisco, onde fica muito caracterizado pela construção em massa e sem controle, ocasionando o descolamento do revestimento ou seu esfarelamento superficial.

A falta de conhecimento dessa alteração da composição química da argamassa acarretam em soluções empíricas, muitas vezes orientada por profissionais sem conhecimento técnico e tudo baseado em dados de experiências sem comprovação de êxito e, sempre com a justificativa de que não se resolve e que a patologia irá ocorrer novamente. Tudo contraditório às exigências normativas.

Entendendo que as causas das contaminações em edificações podem ser diversas, tais como: **Cloreto de Sódio**; encontramos na água do mar ou resultante do intemperismo em produtos salgados armazenados nas construções e no solo, recorrente de rejeito de dessalinizadores ou ainda fósseis geológicos depositados em salinas. **Nitratos**; podem ser oriundos de fertilizantes orgânicos utilizados no solo ou excremento animais. **Sulfato de Sódio**; pode ser oriundo de solos fertilizados ou mesmo de produtos cerâmicos (Golçalves, 2007 apud Puim, 2010). **Sulfato de Magnésio**; pode ser oriundo de materiais ce-

râmicos (Golçalves, 2007 apud Puim, 2010). **Sais Carbonatos;** podem resultar da reação entre os álcalis do cimento Portland e o CO_2 do ar (Golçalves, 2007 apud Puim, 2010). **Gesso;** a sulfatação dos materiais carbonatados (pedras calcárias) a partir do dióxido de enxofre (SO_2) existente em atmosfera poluída. (Viler, 1997 apud Puim, 2010). **Nitrato de Cálcio;** com reações de diferentes óxidos existentes em atmosfera poluída e vapor de água, proporcionam formação de ácidos susceptíveis, e causará transformação de carbonato de cálcio em nitrato de cálcio (Ranalli, et al 2000 apud Puim, 2010).

Para que ocorram o depósito de sais minerais nos materiais utilizados na edificação é necessária a presença da água, que será utilizada como transporte desses sais. Sais solúveis em água e expostos a condições climáticas e ambientais desfavoráveis, proporcionarão a percolação e evaporação da água, deixando os sais solúveis de forma residuais na edificação.

Essa contextualização para o surgimento de danos às edificações causados pelo caminhamento dos sais solúveis toma maior gravidade pois após a cristalização dos sais, com a evaporação da água, surge uma força expansiva de maior gravidade, na qual danifica a estrutura cristalina da argamassa de revestimento, determinando assim a deterioração dos elementos que compõem a edificação.

Utilizando as amostras caracterizadas pela perda de resistência à compressão em relação ao tempo e modo de exposição, estas amostras foram analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), possibilitando a caracterização da composição da argamassa e o percentual existente de cada elemento.

Diante dessa verificação pôde ser observada a alteração final na composição da argamassa, demonstrando claramente a al-

teração química na mistura. Essa alteração pode justificar a perda de cristalização da massa referente à constituição do material, e consequentemente a perda de resistência. Além dessa verificação, observamos também a característica do surgimento de etringita na argamassa, fato que se comprova através do surgimento do “agulhamento” na cristalização dos materiais. O que justifica a expansão interna da massa e, seu esfrelamento.

Buscando analisar um melhor entendimento da patologia, encontramos fatos de muita relevância na composição final da amostra, podendo ser um marco inicial para um melhor diagnóstico para um problema que tanto incomoda os construtores e proprietários de imóveis na região.

2. Materiais e Métodos

O estudo das propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos materiais objetivou analisar os parâmetros que pudessem influir no processo de formação e desenvolvimento de sais solúveis, bem como determinar as características relacionadas à variação do teor de sais existente nos agregados miúdos. Além disso, para a caracterização dos materiais utilizados nesta pesquisa, foram adotados métodos de ensaios normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), *American Society for Testing and Materials (ASTM)* e Norma Mercosul (NM).

Para o experimento, inicialmente, foram simuladas quatro (04) situações distintas para os corpos de prova, considerando as condições de exposição e variações térmicas e de temperatura.

Quanto às condições de exposição dos corpos de prova, seguem:

- Imerso em areia seca (sem umidade), imerso em areia úmida; areia da Jazida da Serra da Batateira com umidade de 20%;
- Imerso em vala natural (escavado), locali-

zado no próprio campus da UNIVASF Juazeiro-BA, a aproximadamente 200 metros da margem do rio São Francisco, sendo essa situação (Campus Juazeiro/BA) considerada uma situação aleatória e idealizada como situação corriqueira na região;

- Exposto em Câmara Úmida, com umidade relativa do ar por volta de 70%. Adequando a condições normativas.

O experimento consistiu em realizar uma microscopia eletrônica de varredura, em amostras pré-selecionadas, e descritas anteriormente, para desenvolver uma análise microestrutural da superfície dos corpos de prova além de uma análise química.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um aparelho que pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida (Dedavid *et al.*, 2007). O princípio do MEV consiste em

utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície da amostra e transmitir o sinal do detector a uma tela. O sinal de imagem resulta da interação do feixe incidente com a superfície da amostra. O sinal recolhido pelo detector é utilizado para modular o brilho do monitor, permitindo a observação (Dedavid *et al.*, 2007).

Antes de serem submetidas ao MEV, as amostras foram colocadas em uma fita adesiva plástica de carbono dupla face e levadas para recobrimento em banho em forma de ouro em pó, utilizando a metalizadora Quorum Technologies Q150R.

Após o recobrimento com ouro, as amostras foram colocadas no porta amostra do microscópio para o início das análises. O MEV utilizado nesta pesquisa foi da marca TESCAN, modelo VEGA3, de propriedade da Universidade Federal do Vale do São Francisco.

3. Resultados e Discussões

3.1 MICOSCOPIA DE VARREDURA ELETRÔNICA (MEV)

Análises de microscopia eletrônica de varredura foram utilizadas para obter imagens que permitissem a visualização das características microestruturais dos corpos de prova, onde pudéssemos obter informações que justificassem a alteração na resistência à compressão. Para a determinação da quantidade de amostras utilizadas para análises, foram considerados os critérios que mais assemelharam a realidade local de obra, ao tipo de agregado utilizado com maior quantidade, como também ao tipo de exposição que pudesse ser comparada à situação real de campo.

Segundo Brunetaud (2005), a resistência à compressão pode ser comprometida pela formação de etringita, devido às expansões dos cristais. Sendo essa definição muito importante para o estudo, uma vez que a existência de etringita está relacionada ao

Excelência em serviços de
Avaliações, Perícias, Vistorias e
Consultoria de Engenharia Civil

SERVIÇOS

Engenharia Diagnóstica

Avaliação Patrimonial

Engenharia Legal

Consultoria

Entre em contato com a Planner Engenharia!

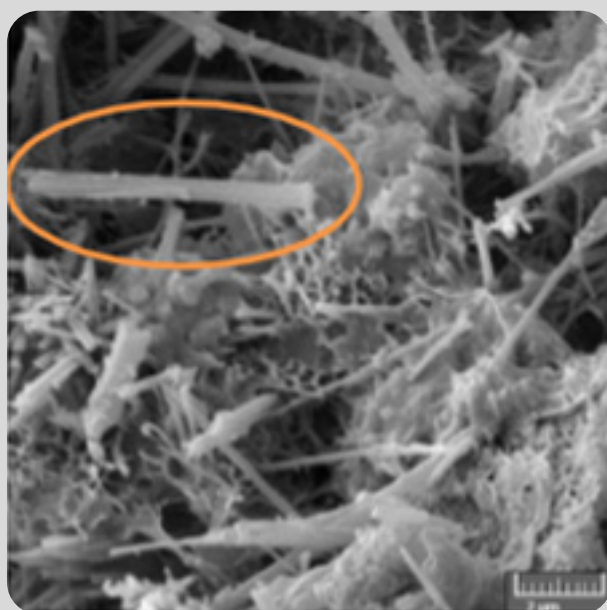
@plannerengenhariape @plannerengenhariape
+55 87 99108-9004 Site: plannereng.com.br/

processo de cura do material, e ainda relacionada à variação térmica e de umidade.

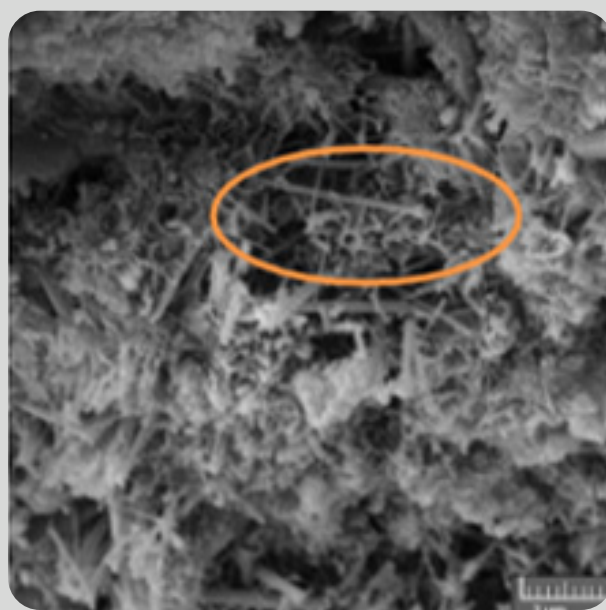
As amostras acondicionadas em vala escavada e em câmara úmida, considerando o período de exposição até 180 dias, as figuras 1c e 1d, respectivamente, não apresentaram formação de cristais agulhados. Diferente das figuras 1a e 1b. Este fato

pode estar relacionado a todo o processo de exposição da amostra, sem a ocorrência de grandes variações térmicas no início de sua cura, proporcionando à amostra uma maior possibilidade de vida útil e um processo de cura menos agressivo.

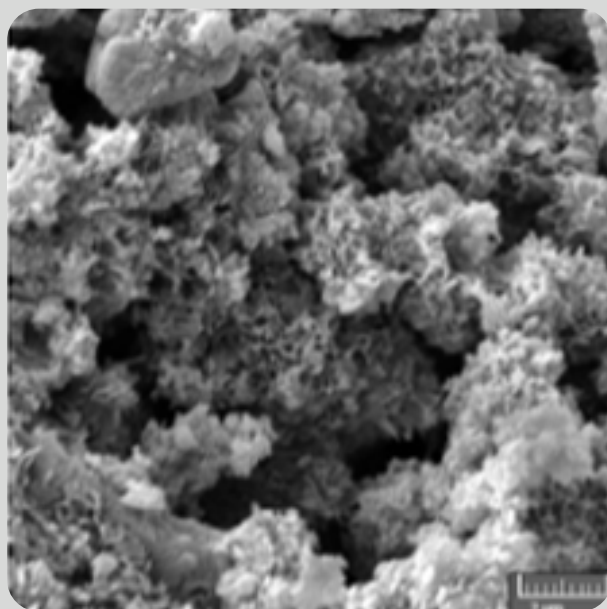
Essa presença de poros na superfície da amostra, figuras 1c e 1d, pode estar



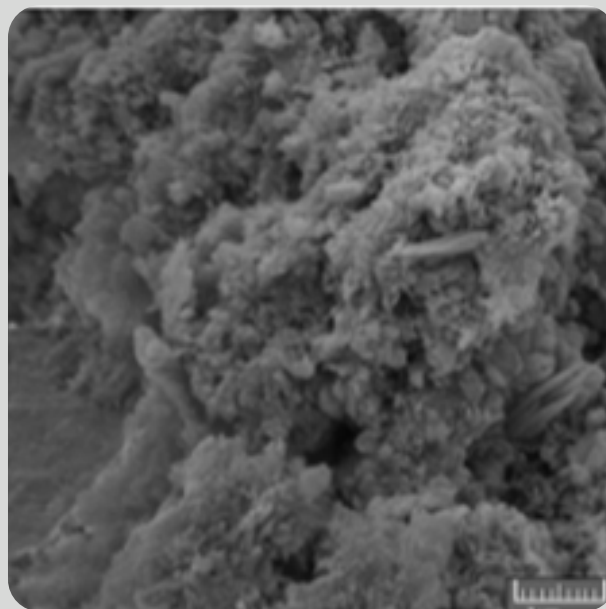
(A)



(B)



(C)



(D)

FIGURA 1

Superfícies de fratura dos corpos submetidos a diferentes tipos de acondicionamento:

a) Areia seca; b) Areia úmida; c) Vala; d) Câmara úmida

relacionada ao grau de exposição da amostra no processo de cura, estando em condições naturais e sujeita às intempéries existentes no solo natural.

Ryshkewitch (1953) desenvolveu uma expressão matemática (Equação 1) que descreve a relação entre a resistência mecânica e a quantidade de poros presentes nas estruturas dos corpos.

EQUAÇÃO 1

$$\sigma = \sigma_0 e^{-BP}$$

Onde:

σ : é a resistência do corpo poroso;

σ_0 : é a resistência do corpo não poroso do mesmo material;

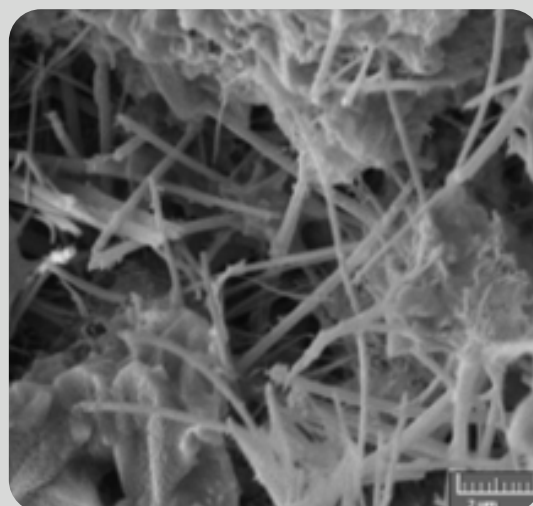
B : é uma constante que depende do tipo de material;

P : porosidade expressada por uma fração (0 a 100%).

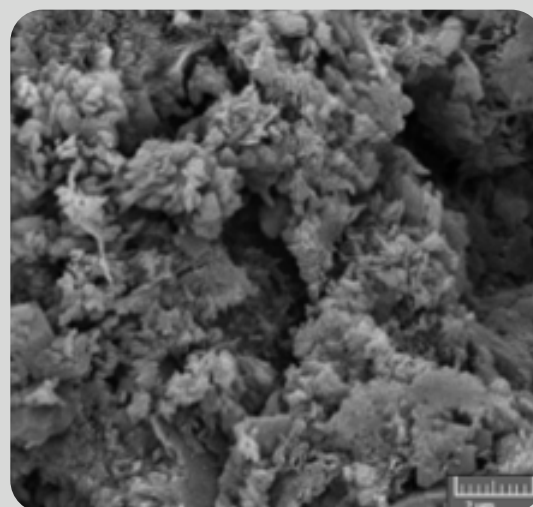
O aumento da quantidade de poros nos corpos está diretamente ligado à perda de resistência mecânica, pois se o corpo não for poroso ($P = 0$), a expressão matemática resulta em: $\sigma = \sigma_0$. Ou seja, o corpo não sofrerá perda de resistência. Quanto maior for a porosidade, maior será o P , e menor será σ .

Para as análises das superfícies de fratura dos corpos de prova com areia de maior teor de salinidade, foi utilizada apenas a situação de acondicionamento em câmara úmida, para criar referências para trabalhos futuros, pois, segundo Silva (2009), este procedimento segue as condições estabelecidas pela norma e dá origem aos valores de referência. Na figura 2 podem ser vistos os diferentes tipos de acondicionamento com as respectivas amostras.

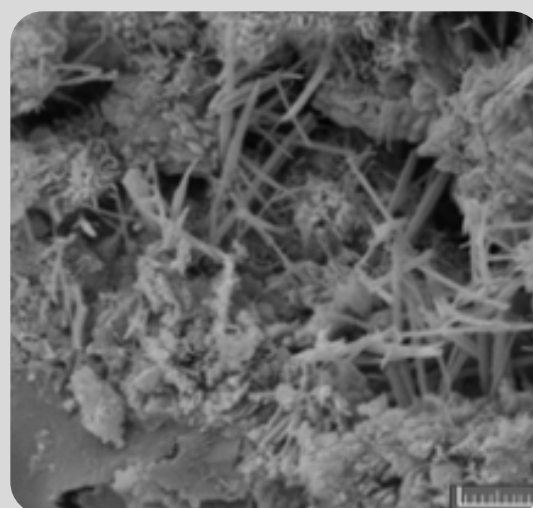
A superfície de fratura do corpo de prova, acondicionado em câmara úmida, é mostrada na Figura 3. Onde pode ser observada a formação de cristais aciculares. Essa amostra também apresentou perda de resistência à compressão após 180 dias de acondicionamento.



(A)



(B)



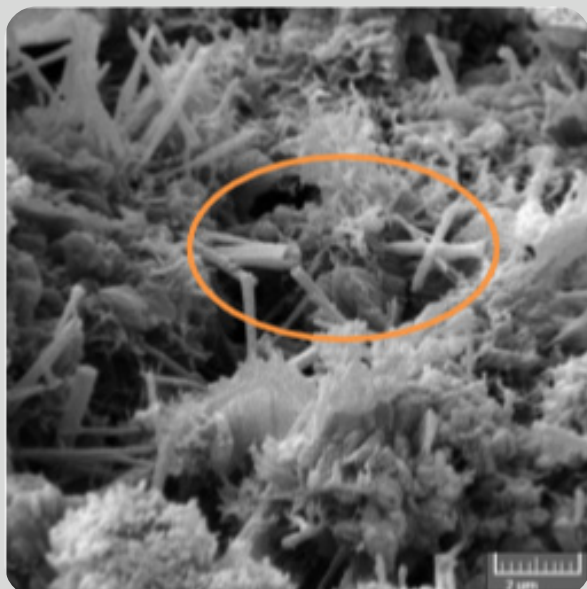
(C)

FIGURA 2

Superfícies de fratura dos corpos de prova submetidos a diferentes tipos de acondicionamento:

a) Areia úmida;

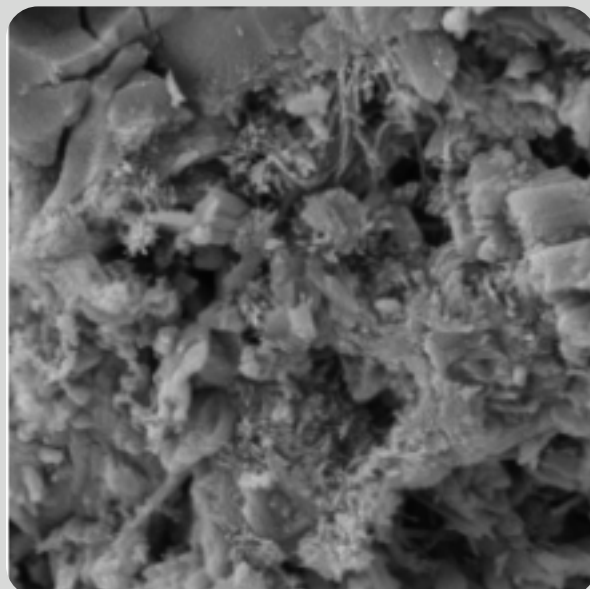
b) Vala; c) Câmara úmida

**FIGURA 3**

Superfície de fratura do corpo de prova acondicionado em câmara úmida.

A superfície de fratura do corpo de prova com a adição de impermeabilizante, acondicionado em câmara úmida, é mostrada na Figura 4, onde observou-se que a amostra não apresentou formação de cristais aciculares, e sim um aumento da porosidade caracterizado pelos vazios existentes. Esta amostra apresentou um leve ganho de resistência à compressão após 180 dias de acondicionamento. Com isso podemos dizer que, considerando o agregado com maior presença de sais e, consequentemente, demonstrando ter uma perda maior de resistência ao longo do tempo, o fato de ter a exposição em câmara úmida altera o comportamento da amostra ao longo do tempo, inibindo ação dos sais devido ao controle do processo de cura. Ainda de maior grau quando da adição de impermeabilizante. Ou seja, o controle do processo de cura interfere diretamente na qualidade e durabilidade final da amostra.

A partir dos resultados do MEV é possível perceber que a perda de resistência à compressão nos corpos de prova está di-

**FIGURA 4**

Superfície de fratura do corpo SC acondicionado em câmara úmida.

retamente ligada à formação de cristais aciculares característicos de etringita nas microestruturas das amostras analisadas, conforme demonstrado nas figuras 1 a 4, desenvolvidos pelo ataque de sulfatos. Sendo tal ação, possivelmente justificada, pela exposição à grande variação térmica e de umidade existente na região.

3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Com base em todos os dados obtidos durante a pesquisa, foi realizada a análise química das amostras que foram rompidas a 180 dias de exposição com o objetivo de entender melhor a formação de etringita e que tipo de alterações estariam ocorrendo. Foi feita uma análise química preliminar em 2 corpos de prova acondicionados em câmara úmida que apresentaram formação de cristais.

As caracterizações químicas das amostras encontram-se nas figuras 5 e 6, respectivamente.

De acordo com Bauer (1994), os componentes essenciais do cimento Portland são cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e

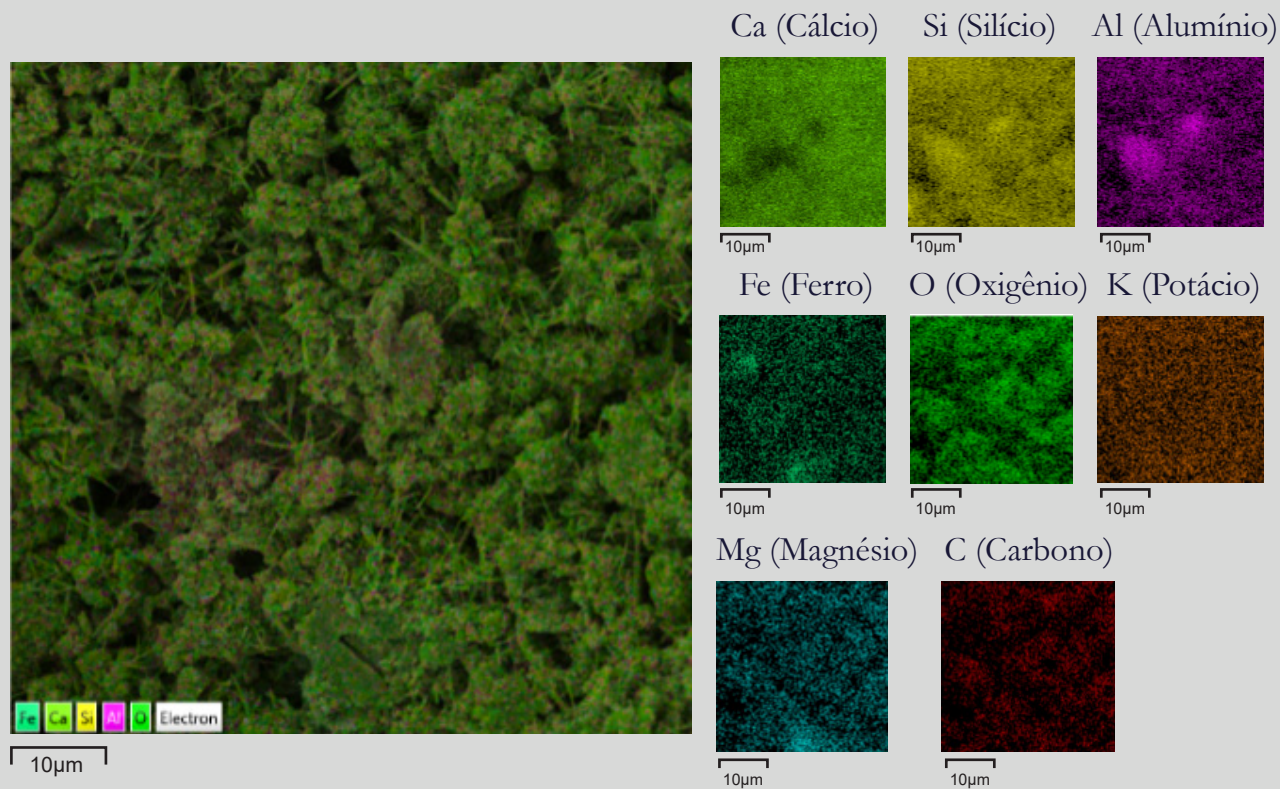


FIGURA 5

Caracterização química da amostra com impermeabilizante acondicionada em câmara úmida.

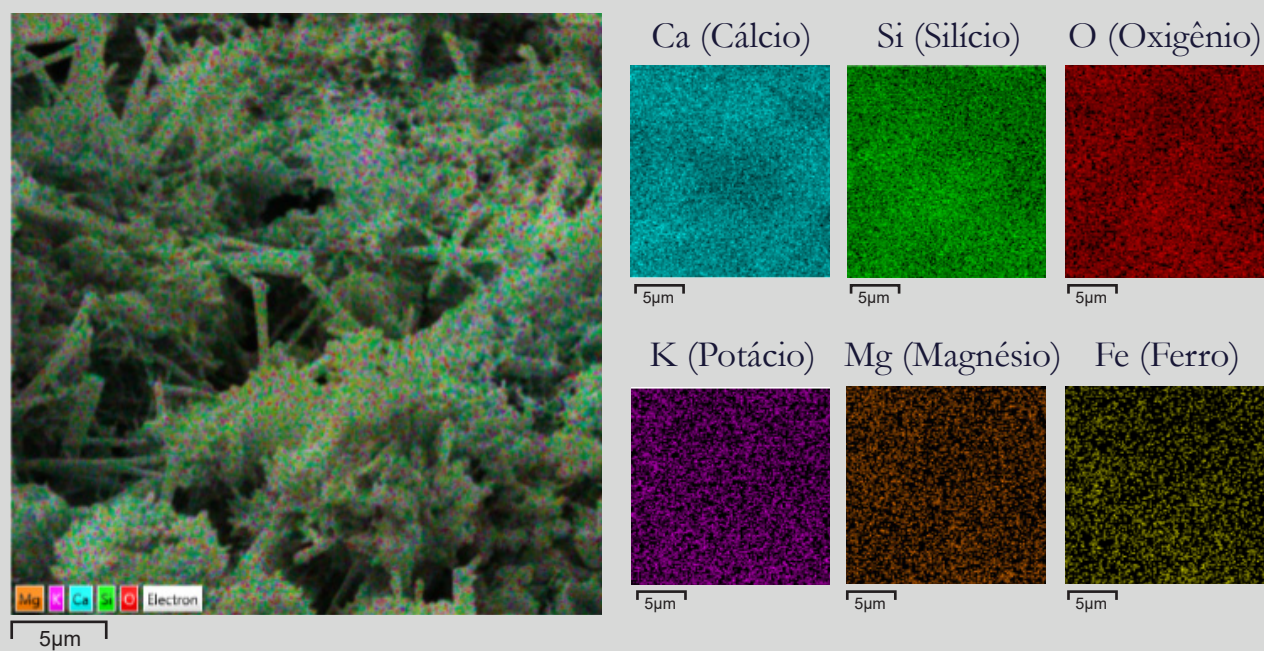


FIGURA 6

Caracterização química da amostra sem impermeabilizante acondicionada em câmara úmida.

óxido de ferro (Fe_2O_3), constituindo de 95 a 96% do total de óxidos. Outros componentes estão presentes em menores quantidades, como magnésia (MgO), anidro sulfúrico (SO_3), óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio (K_2O), óxido de titânio (TiO_2), entre outros.

Nas amostras foram encontrados os elementos químicos provenientes do cimento: silício (Si), cálcio (Ca), alumínio (Al), magnésio (Mg), ferro (Fe) e potássio (K).

Segundo Melo (2010), os elementos químicos constituintes da etringita são o cálcio (Ca), o alumínio (Al), o sulfato (SO_3) e a água (H_2O). Assim, para o entendimento da formação da etringita tardia, é importante conhecer a forma que esses elementos são apresentados para a reação.

De acordo com Taylor, Famy e Scrivener (2001), ao final da cura térmica, uma grande quantidade de Al_2O_3 e SO_3 está nos silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), sendo que o alumínio é encontrado fortemente incorporado neste produto, substituindo a sílica e fixando-se nos espaços entre as suas ca-

madas. O alumínio poderá, também, estar combinado em fases aluminatos hidratados como hidrogranada (C_3AH_6). Por sua vez, os sulfatos podem estar presentes na solução do poro, no monossulfato ou adsorvido no C-S-H.

Quando o material é armazenado sob condições de temperatura ambiente e alta umidade, a maior parte do alumínio que entrou no C-S-H se mantém nesta fase, o que está presente na hidrogranada se encontra fortemente ligado. A disponibilização do alumínio para a reação poderá ocorrer a partir da hidratação contínua do clínquer, porém a sua concentração na superfície do poro é extremamente baixa. A maior fonte do Al_2O_3 é o monossulfato, o que torna mais provável que a etringita se forme a partir deste hidrato (Melo, 2010). Desta maneira, os principais reagentes para a formação da etringita tardia são C-S-H, solução do poro e monossulfato, sendo que cada um disponibiliza os íons mostrados na Tabela 1.

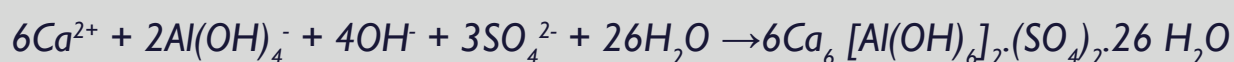
TABELA 1

Íons fornecidos pelos reagentes na formação da etringita tardia.

Reagentes	Íons Fornecidos
C-S-H	Ca^{2+} , SO_4^{2-} , OH^- , H_2O
Monossulfato	Ca^{2+} , SO_4^{2-} , OH^- , $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, H_2O
Solução do poro	H_2O , SO_4^{2-}

A reação para formar a etringita pode ocorrer somente por dissolução-precipitação (Melo, 2010) e está mostrada na Equação 2.

EQUAÇÃO 2



A partir da análise das figuras 5 e 6, observou-se a presença de elementos químicos característicos da etringita, porém o fato desses elementos químicos também constituírem a composição química do cimento Portland dificultou a visualização da caracterização dos cristais formados, exigindo técnicas mais específicas para caracterização da formação da fase etringita.

Thaulow, Johansen e Jacobsen (1997) e, mais tarde, Johansen e Thaulow (1999) definiram a formação da etringita tardia como um tipo especial de ataque por sulfato interno, que envolve altas temperaturas de cura e cuja fonte de sulfatos é o próprio cimento. Quanto ao agregado ser uma fonte interna de sulfato, recentemente descobriu-se que não somente agregados contaminados por sulfatos, mas também os que contêm sulfetos em sua composição mineralógica são também fontes internas de sulfato, podendo causar um ataque interno, conforme constatado por Gomides (2009).

4. Conclusão

A partir dos resultados é possível afirmar que a perda de resistência à compressão nos corpos de prova está diretamente ligada à formação de cristais aciculares, característicos de etringita, nas microestruturas das amostras analisadas.

A situação de acondicionamento em areia seca foi a situação mais crítica, pois todos os corpos de prova submetidos a essa condição apresentaram perda de resistência à compressão.

Observa-se que o uso do impermeabilizante só propiciou um ganho significativo de resistência nos primeiros dias de exposição. Porém, não evitou o surgimento de cristais aciculares, que é um fator nocivo à argamassa.

Em termos práticos a composição da argamassa nas cidades de Juazeiro-BA e Petrolina-PE acarretará no surgimento de cristais, devido às condições dos agregados miúdos comercializados nessa região.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Argamassa para assentamento – Requisitos** – NBR 13281, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** – NBR 13279, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2007.

BRUNETAUD, X. **Etude de l'influence de différents paramètres et de leurs interactions sur la cinétique et l'amplitude de la réaction sulfatique interne au béton**. 2005. 265f. Thèse de doctorat (Physico-Chimie des Matériaux), Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Ecole Centrale Paris, France, 2005.

COELHO, N. A. **Caracterização dos agregados miúdos encontrados no Vale do São Francisco no polo Juazeiro/Petrolina**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Juazeiro, 2009.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras - materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

GOMIDES, M. J. **Investigação de agregados contendo sulfetos e seus efeitos sobre a durabilidade do concreto**. 2009. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MELO, S. K. **Estudo da formação da etringita tardia em concreto por calor de hidratação do cimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil, UFG, Goiânia, 2010.

NBR, ABNT. “5738 - **Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.**” Rio de Janeiro (2003).

NBR, ABNT. “NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos-Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.**” Rio de Janeiro (2005).

RYSHKEWITCH, E. **Compression strength of porous sintered alumina and zirconia.** J. Am. Ceram. Soc. 36 (2), 1953.

SILVA, B.A. **Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão**

de corpos-de-prova de concreto. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2009.

TAYLOR, H.F.W.; FAMY, C.; SCRIVENER, K.L. Delayed ettringite formation. **Cement and concrete research**, v. 31, p. 683-693, 2001.

THAULOW, N.; JOHANSEN V.; JAKOBSEN U.H. **What causes Delayed Ettringite Formation?** In: **Proceedings of the materials research society's.** In: SCRIVENER, K. L.; YOUNG, J.F (editors). *Mechanisms of chemical degradation of cement-based systems.* Boston, USA: E&FN SPON, 1997.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação.** São Paulo: Editora Pini, 2007: IPT: PUSP, 1989.



INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E
PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO

ANOS



VALOR
ENGENHARIA

29 Anos