



A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)

A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 A aplicação do conhecimento científico nas engenharias [recurso eletrônico] / Organizadora Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-244-9

DOI 10.22533/at.ed.449190404

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovação. I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.0072

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O conhecimento científico é extremamente importante na vida do ser humano e da sociedade, pois possibilita entender como as coisas funcionam ao invés de apenas aceita-las passivamente. Mediante o conhecimento científico é possível provar muitas coisas, já que busca a veracidade através da comprovação.

Sendo produzido pela investigação científica através de seus procedimentos, surge da necessidade de encontrar soluções para problemas de ordem prática da vida diária e para fornecer explicações sistemáticas que possam ser testadas e criticadas através de provas. Por meio dessa investigação, obtêm-se enunciados, leis, teorias que explicam a ocorrência de fatos e fenômenos associados a um determinado problema, sendo possível assim encontrar soluções ou, até mesmo, construir novas leis e teorias.

Possibilitar o acesso ao conhecimento científico é de suma importância para a evolução da sociedade e do ser humano em si, pois através dele adquirem-se novos pontos de vista, conceitos, técnicas, procedimentos e ferramentas, proporcionando o avanço na construção do saber em uma área do conhecimento.

Na engenharia evidencia-se a relevância do conhecimento científico, pois o seu desenvolvimento está diretamente relacionado com o progresso e disseminação deste conhecimento.

Neste sentido, este E-book, composto por dois volumes, possibilita o acesso as mais recentes pesquisas desenvolvidas na área de Engenharia, demonstrando a importância do conhecimento científico para a transformação social e tecnológica da sociedade.

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
DESENVOLVIMENTO DE ARCABOUÇOS DE PLGA E PLDLA COM POROS INTERCONECTADOS DIRECIONADOS PARA ENSAIOS DE CULTURA DE CÉLULAS ÓSSEAS	
Joelen Osmari Silva Anna Maria Gouvea Melero Juliana Almeida Domingues Adriana Motta de Menezes Moema de Alencar Hausen Daniel Komatsu Vagner Roberto Botaro Eliana Aparecida de Rezende Duek	
DOI 10.22533/at.ed.4491904041	
CAPÍTULO 2	12
ENSAIOS IN VITRO E IN VIVO DE <i>SCAFFOLDS</i> DE PLGA INCORPORADOS COM ÓLEO-RESINA DO GÊNERO COPAIFERA SSP. PARA REPARAÇÃO DE TECIDOS	
Ana Luiza Garcia Massaguer Millás João Vinícios Wirbitzki da Silveira Rodrigo Barbosa de Souza Maria Beatriz Puzzi Edison Bittencourt Ivan Hong Jun Koh	
DOI 10.22533/at.ed.4491904042	
CAPÍTULO 3	26
MEMBRANAS MICROFIBROSAS DE POLI (L-ÁCIDO LÁCTICO) (PLLA) PARA REPARO ÓSSEO	
Bárbara Etruri Ciocca	
DOI 10.22533/at.ed.4491904043	
CAPÍTULO 4	32
ESTUDO DO POTENCIAL MICROBIOLÓGICO DE NANOCRISTAIS HÍBRIDOS DE ZnO DOPADOS COM AgO	
Ellen Quirino de Sousa Lucas do Nascimento Tavares Caio César Dias Resende Lorraine Braga Ferreira Carlos José Soares Anielle Christine Almeida Silva Luís Ricardo Goulart Filho Letícia de Souza Castro Filice	
DOI 10.22533/at.ed.4491904044	
CAPÍTULO 5	42
PROCESSAMENTO DE LIGAS Mg-Zn-Ca PARA USO EM IMPLANTES CIRÚRGICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE METALURGIA DO PÓ	
Jorge Alberto de Medeiros Carvalho José Adilson Castro Alexandre Antunes Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.4491904045	

CAPÍTULO 6 54

“VIABILIDADE DO USO DE CASCAS DE OVOS NA SÍNTESE DA HIDROXIAPATITA UTILIZANDO O MÉTODO SOL-GEL

Marilza Sampaio Aguilar
José Brant de Campos
Marcelo Vitor Ferreira Machado
Francisco José Moura
Suzana Bottega Peripolli
Vitor Santos Ramos
Adilson Claudio Quizunda
Marla Karolyne dos Santos Horta

DOI 10.22533/at.ed.4491904046

CAPÍTULO 7 63

ESTUDO DA VELOCIDADE DE ADIÇÃO DOS REAGENTES NA SÍNTESE DE HIDROXIAPATITA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCAS DE OVOS DE GALINHA COMO PRECURSORES

Marilza Sampaio Aguilar
José Brant de Campos
Marcelo Vitor Ferreira Machado
Francisco José Moura
Suzana Bottega Peripolli
Vitor Santos Ramos
Adilson Claudio Quizunda
Marla Karolyne dos Santos Horta

DOI 10.22533/at.ed.4491904047

CAPÍTULO 8 70

MEDIDAS DE MICRODUREZA VICKERS EM HIDROXIAPATITA SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO A CASCA DO OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

Marilza Sampaio Aguilar
José Brant de Campos
Marcelo Vitor Ferreira Machado
Francisco José Moura
Suzana Bottega Peripolli
Vitor Santos Ramos
Adilson Claudio Quizunda
Marla Karolyne dos Santos Horta

DOI 10.22533/at.ed.4491904048

CAPÍTULO 9 86

ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DE CORROSÃO DE ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS ÀS AÇÕES DE CLORETOS E DE CARBONATAÇÃO

Wanessa Souza de Lima
Marcelo Lima Silva
Fuad Carlos Zarzar Júnior
Romilde Almeida de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.4491904049

CAPÍTULO 10 105

ANÁLISE DA CORROSÃO DE BARRAS NO CONCRETO ARMADO E PREVISÃO DE VIDA ÚTIL POR MEIO DE MODELO COMPUTACIONAL

Wanessa Souza de Lima
Romilde Almeida de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.44919040410

CAPÍTULO 11	124
ARGAMASSAS DE REJUNTE EXPOSTAS AOS CICLOS DE MOLHAGEM E SECAGEM	
Valéria Costa de Oliveira	
Emílio Gabriel Freire dos Santos	
Rafael Alves de Oliveira	
Júlia Silva Maia	
DOI 10.22533/at.ed.44919040411	
CAPÍTULO 12	136
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO (CAD) QUANDO SUBMETIDO A TEMPERATURAS ELEVADAS	
Klayne Kattiley dos Santos Silva	
Amâncio da Cruz Filgueira Filho	
Emerson Fernandes da Silva Alves	
Fernando Artur Nogueira Silva	
DOI 10.22533/at.ed.44919040413	
CAPÍTULO 13	151
COMPORTAMENTO DO CONCRETO EM RELAÇÃO AO ATAQUE QUÍMICO POR SULFATOS	
Amanda Gabriela Dias Maranhão	
Fuad Carlos Zarzar Júnior	
Romilde Almeida de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.44919040414	
CAPÍTULO 14	162
DURABILIDADE DE ESTRUTURAS CIMENTÍCIAS SUBMETIDAS A ATAQUES DE ÍONS SULFATOS	
Artur Buarque Luna Silva	
Fuad Carlos Zarzar Júnior	
Romilde Almeida de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.44919040415	
CAPÍTULO 15	170
SUGARCANE BAGASSE ASH INTO SILICON PRODUCTS	
Angel Fidel Vilche Pena	
Agda Eunice de Souza	
Silvio Rainho Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.44919040416	
CAPÍTULO 16	177
ENSAIO NÃO DESTRUTIVO BASEADO NA INTERAÇÃO DE LINHAS DE CAMPO MAGNÉTICO PARA O ACOMPANHAMENTO DA PERDA DE MASSA EM MATERIAIS METÁLICOS	
David Domingos Soares da Silva	
Franklin Lacerda de Araújo Fonseca Júnior	
Alysson Domingos Silvestre	
DOI 10.22533/at.ed.44919040417	
CAPÍTULO 17	183
ANÁLISE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL OFF-GRID NA ZONA URBANA DE FORTALEZA-CE	
Francisco Jeandson Rodrigues da Silva	
Cauli Guray Melo Freitas	
Fellipe Souto Soares	
Douglas Aurélio Carvalho Costa	

Obed Leite Vieira

DOI 10.22533/at.ed.44919040418

CAPÍTULO 18 197

RECREIAÇÃO DO EXPERIMENTO DE HERTZ

Camila Alice Silva Santos

Cláudia Timóteo de Oliveira Rufino

Denikson Figueiredo de Vasconcelos

Ericveiber Lima Dias Clemente

Gustavo Henrique Mathias de Lima

DOI 10.22533/at.ed.44919040419

CAPÍTULO 19 205

UTILIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE SOLDAGEM PARA CONTROLE DO NÍVEL DE PLANICIDADE DE UM ITEM SOLDADO UTILIZADO EM UM EQUIPAMENTO AGRÍCOLA

Alex Sandro Fausto dos Santos

Eduardo Carlos Mota

DOI 10.22533/at.ed.44919040420

SOBRE A ORGANIZADORA 219

COMPORTAMENTO DO CONCRETO EM RELAÇÃO AO ATAQUE QUÍMICO POR SULFATOS

Amanda Gabriela Dias Maranhão

Universidade Católica de Pernambuco, Curso de Engenharia Civil
Recife – Pernambuco

Fuad Carlos Zarzar Júnior

Universidade Católica de Pernambuco, Curso de Engenharia Civil
Recife – Pernambuco

Romilde Almeida de Oliveira

Universidade Católica de Pernambuco, Curso de Engenharia Civil
Recife – Pernambuco

RESUMO: No campo das patologias, o ataque por sulfatos às estruturas cimentícias se torna visível devido a sua elevada agressividade. Como principal meio de degradação, tem-se a água, pois esta facilita as reações e o ingresso dos íons: sulfato de magnésio e sódio, para o interior das estruturas, o que favorece o processo de formação da gipsita, etringita, e a taumasita. A etringita secundária é considerada uma reação deletéria, pois pode provocar expansão da peça, e a taumasita a descalcificação do C-S-H. Como na natureza este fenômeno ocorre de forma lenta, este estudo visa apresentar a ação dos sulfatos de sódio e magnésio através de ensaio acelerado, utilizando corpos de prova prismáticos submersos em soluções ricas desses íons. Desta forma, pode-se

comparar os ataques, verificando assim, se o cimento comumente utilizado no nordeste do Brasil (CPII-Z-32), pode ser uma alternativa confiável, resistente a esses agentes. Quando expostas às soluções, as amostras mostram comportamentos distintos. Neste trabalho, visualmente, as amostras contendo sulfato de sódio apresentaram um maior grau de degradação superficial desde os primeiros dias. Porém, segundo a NBR 13583/14, quanto à vulnerabilidade, somente as amostras contendo o sulfato de magnésio excederam o limite de expansão linear, em concomitância com a literatura. Em locais considerados mais agressivos, devem ser realizados estudos do solo anteriormente à construção, assim como, a utilização de cimentos resistentes a sulfatos ou com adições pozolânicas e baixo teor de C_3A .

PALAVRAS-CHAVE: Ataque por sulfatos, Patologia, Vida útil.

ABSTRACT: In the field of pathologies, the attack by sulphates on the cementitious structures becomes evident due to their high aggressiveness. The water is the main means of degradation, because it facilitates the reactions and the ingress of the magnesium sulphate and sodium ions, into the interior of the structures, which favors the formation process of gypsite, ettringite, and taumasite. The secondary ettringite is considered a deleterious reaction,

since it can cause expansion of the structure, and the taumasite may decalcify the C-S-H. As in nature this phenomenon occurs slowly, this study aims to present the action of sodium and magnesium sulfate through accelerated test, using prismatic specimens submerged in solutions rich in these ions. In this way, it is possible to compare the attacks, thus verifying if the cement commonly used in the northeast of Brazil (CPII-Z-32) may be a reliable alternative resistant to these agents. When exposed to the solutions, the samples obtained different behaviors. Visually, the samples containing sodium sulphate showed a higher degree of superficial degradation from the first days. However, according to NBR 13583:2014, regarding the vulnerability, only the samples containing magnesium sulphate exceeded the limit of linear expansion, in concomitance with the literature. In environments considered more aggressive, it is suggested that previous studies should be carried out in the subsoil prior to construction and sulphate resistant (SR) cements or cements with pozzolanic additions and low C_3A content should be used.

KEYWORDS: Sulphate attack, Pathology, Service life.

1 | INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto estão sujeitas, desde a escolha dos materiais até por toda a sua vida útil, a agentes agressivos que atuam tanto no meio onde estão inseridas, quanto internamente em reações com os próprios materiais cimentícios.

Os ambientes com umidade elevada como zonas marinhas, industriais, subterrâneas, possuem um potencial em conter íons sulfatos em grandes concentrações, capazes de, na presença da água, reagirem quimicamente com componentes do concreto resultando em um gel expansivo causador de tensões e fissurações, que afetam a matriz cimentícia, podendo degradar a estrutura.

Segundo Neville (2001) durabilidade significa que uma estrutura terá desempenho contínuo satisfatório para as finalidades para as quais foi projetada. Entretanto, tem-se observado um desempenho insatisfatório em relação à vida útil das construções em concreto, principalmente devido à ataques químicos, que de acordo com estudiosos como Mehta e Monteiro (2008), o ataque por sulfatos situa-se dentre as quatro mais importantes causas de deterioração.

Naturalmente esse ataque por sulfatos é um fenômeno lento, sendo necessário ser reproduzido em laboratório através de um método acelerado para simular e estudar este processo. A NBR 13583 (ABNT, 2014) foi o método escolhido para analisar o ataque por sulfato de sódio, como indicado pela própria norma, em contrapartida, foi analisado também, o ataque de sulfato de magnésio para as mesmas condições e comparados os resultados.

2 | OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo, através de pesquisa bibliográfica e ensaios laboratoriais, estudar o comportamento de argamassas e sua durabilidade frente ao ataque químico por sulfatos.

2.2 Objetivos específicos

1. Avaliar se o CP-II-Z-32 pode ser considerado resistente a sulfatos.
2. Comparar dois tipos de ataques por sulfatos.
3. Propor uma metodologia eficiente de identificação e possível prevenção.

3 | MECANISMO DE DETERIORAÇÃO POR ÍONS SULFATO

De acordo com Metha e Monteiro (1994), a água é o principal agente de degradação, agindo como veículo de transporte de íons agressivos como os sulfatos, e fonte de processos químicos. Brandão e Pinheiro (1999) complementam explicando que o transporte simultâneo de calor, umidade e substâncias químicas, tanto na troca com o meio ambiente como dentro da própria massa de concreto, são os principais fatores relacionados com a durabilidade. Ainda, a durabilidade depende muito mais da permeabilidade e capacidade de absorção, propriedades condicionadas pela porosidade, do que das propriedades universalmente aceitas, tais como: resistência, módulo de elasticidade, abatimento, massa específica, etc, ressaltando que há uma nítida relação entre os seguintes aspectos: agressividade ambiental, durabilidade e qualidade das estruturas. A garantia da durabilidade contribui de forma considerável para garantir a qualidade das estruturas, visto que ambos os parâmetros estão intimamente relacionados.

Segundo Souza (2006), existem quatro formas de ataque por sulfatos em estruturas de concreto: 1. o ingresso do íon de fontes externas para o interior do concreto resultando na formação de etringita ou gipsita; 2. cristalização dos sais devido à evaporação da água; 3. formação de etringita tardia, que ocorre quando o íon sulfato é proveniente do interior do próprio material e 4. formação de taumasita, que é produto de reações entre carbonatos, sulfatos de cálcio, água e silicatos de cálcio hidratados.

Estudos realizados por Divet e Randriambololona (1998) provaram que o aumento da temperatura colabora com um maior consumo do íon sulfato, conseqüentemente tornando as reações mais rápidas. Dessa forma, aumentar a temperatura pode ser uma alternativa para acelerar os métodos de verificação do ataque, porém, de acordo com Brown e Bothe (1993) deve-se respeitar o limite de 60°C pois acima desta a etringita não é estável. A respeito desse assunto Glasser (1992) descreve que o aumento de

temperatura do concreto pode ser devido tanto a uma fonte externa ou quanto a uma fonte interna, com o calor liberado pela hidratação do cimento.

3.1 Etringita

De acordo com Metha e Monteiro (2008) dependendo do cátion presente na solução de sulfato - sódio, potássio ou magnésio - tanto o Ca(OH)_2 como o C-S-H podem ser convertidos em gipsita.

A formação da etringita se resume basicamente a três etapas:

Portlandita + sulfato + água → gipsita

C_3A + gipsita + água → monossulfato

Monossulfato + gipsita + água → trissulfoaluminato de cálcio hidratado (Etringita)

Esse processo é natural e faz parte da hidratação do cimento, porém quando a estrutura é exposta novamente a sulfatos e água, a reação volta a ocorrer gerando a etringita secundária, danosa ao concreto. Como o concreto é atacado já endurecido, a etringita formada ocupa um volume cerca de três vezes maior que o C_3A , podendo causar deformações após a expansão, fissurando a peça. Tal efeito ocorre devido à expansão ser desregular e localizada isoladamente na região da estrutura de concreto onde a etringita se forma. Moukwa (1990) mostra que a quantidade de etringita formada não representa diretamente a expansão observada, pois inicialmente ocupa os espaços na rede de poros capilares e só então inicia a expansão.

3.2 Taumasita

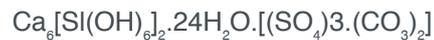
Descobriu-se que a formação da taumasita se dá devido ao ataque simultâneo de sulfatos (SO_4^{2-}) e carbonatos (CO_3^{2-}), em ambientes úmidos e sob temperaturas baixas, onde a água subterrânea, que contém íons sulfato, entra em contato com a pasta de cimento e agregado (HARTSHORN, SHARP e SWAMT, 1999). Esse fenômeno ocorre frequentemente em fundações de edificações, por se tratar de locais que apresentam essas características. Crammond (2002) complementa afirmando que quanto maior for o pH, maior será a formação da taumasita .

Percebeu-se que por muito tempo existiu um consenso entre os pesquisadores ao associar os ataques de sulfatos em estruturas de concreto à formação de gesso ou da etringita. Segundo Taylor (1997) a taumasita é um cristal com estrutura e morfologia similares às da etringita, podendo, por isso, haver confusão na sua identificação. Assim, para sua distinção é necessário o auxílio dos difratogramas de raios X (técnica usada para determinar a estrutura molecular e atômica de um cristal).

Há duas hipóteses para o surgimento da taumasita, a primeira justifica que a mesma é uma evolução da etringita, não sendo considerada muito nociva



Etringita



Taumasita

Já a segunda hipótese é preocupante, pois nesse caso, segundo alguns autores como Leifeld, Munchberg e Stegmaier (1970) os cimentos resistentes a sulfatos - ou com adições que diminuem os teores de C_3A - não impossibilitam a formação de taumasita, visto que nesse estágio o que é consumido é o C-S-H (silicatos cálcicos hidratados) e não o C_3A .

De acordo com Czerewko *et al.* (2003) a formação da taumasita reduz a coesão do concreto em função do ataque ao C-S-H, que libera dióxido de silício necessário à formação do cristal, transformando-o em um material semelhante a uma massa branca e pastosa, muito frágil.

3.3 Expansão por sulfato de sódio

Na presença da água, a solução agressiva de $\text{Na}(\text{SO})_4$ em contato com a peça cimentícia, reage com a pasta desintegrando a peça e formando a etringita e gipsita, que vai migrando para o interior da estrutura. De acordo com Santhanan, Cohen e Olek (2003), pode-se dividir esse ataque em dois estágios.

O primeiro é conhecido como período de indução onde a taxa de expansão é lenta e linear devido a etringita e gipsita formadas na reação preencherem inicialmente os vazios da pasta de cimento hidratada. O segundo ocorre com um aumento brusco na taxa de expansão, devido os poros estarem completamente preenchidos e o volume dos produtos expansivos ser maior do que o espaço disponível, causando tensões internas que com o tempo inicia a fissuração da peça. Um modelo desse ataque pode ser visto na Figura 1.

A solução agressiva difunde com mais facilidade através das fissuras retornando ao mesmo ciclo de expansão e fissuração, que caso não haja intervenção, desintegrará continuamente a estrutura.

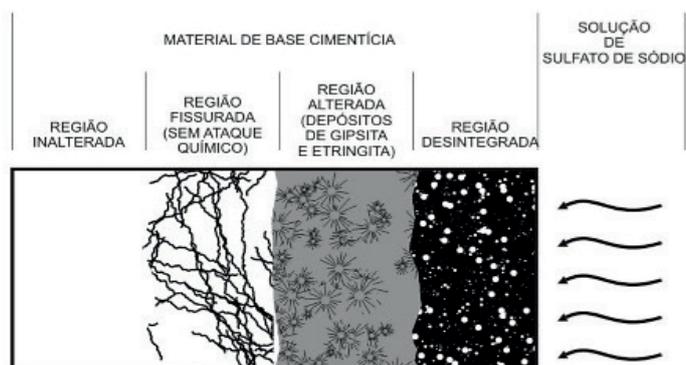


Figura 1– Modelo do ataque por sulfato de sódio

Fonte: SOUZA, R.B.de (2006)

3.4 Expansão por sulfato de magnésio

O ataque de sulfato, considerado pelos especialistas, como sendo o mais nocivo às estruturas cimentícias. Quando em contato com a água tanto o ânion SO_4^{-2} quanto o cátion Mg^{2+} se combinam com o hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (também conhecido por CH ou Portlandita) da pasta de cimento hidratada, formando externamente uma camada protetora denominada brucita ou hidróxido de magnésio $\text{Mg}(\text{OH})_2$, que é insolúvel e reduz a alcalinidade dos sistema, trazendo graves consequências à estabilidade do C-S-H (METHA; MONTEIRO, 2008).

Com isso, para retomar o equilíbrio do pH, o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que é a fase mais importante pois determina as propriedades da pasta de cimento, libera mais CH. O grande problema é que em ataques muito agressivos essa liberação se torna constante, descalcificando assim o C-S-H, comprometendo a estrutura, levando à substituição total do cálcio, formando o silicato de magnésio hidratado (M-S-H) que não apresenta propriedades cimentícias essenciais para a estrutura. Um modelo para esse ataque pode ser visto na Figura 2.

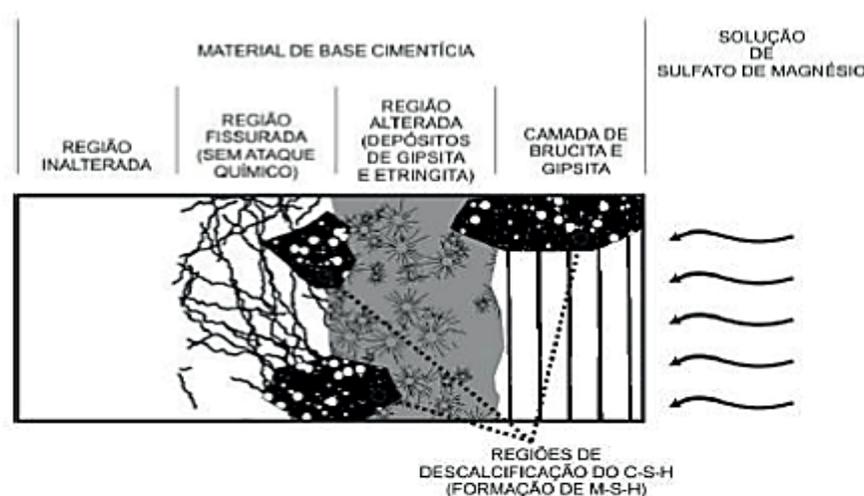


Figura 2– Modelo do ataque por sulfato de magnésio

Fonte: SOUZA, R.B.de (2006)

3.5 Ensaio acelerado – NBR 13583:14

A norma é baseada no trabalho de Marciano (1993) e refere-se à um modelo de ensaio com 42 dias de duração, onde simula o ataque por sulfatos presente na natureza ao longo dos anos, porém de modo acelerado, podendo ser observado através de variação dimensional e método analítico. A autora conclui que o melhor meio de indicar a degradação é através dessa variação dimensional e que para serem resistentes aos sulfatos os cimentos devem apresentar expansão máxima ao término do ensaio de 0,030%.

3.5.1 Descrição do ensaio

O ensaio foi realizado contendo três grupos, o primeiro para referência, o segundo atacado por sulfato de sódio e o terceiro atacado por sulfato de magnésio (soluções com concentrações de 100g/litro cada), possuindo cada, três corpos de prova prismáticos de dimensões 25x25x285mm. Preparados com uma proporção de cimento CII-Z-32 e areia normatizada, NBR 7214 (ABNT, 2015), igual a 1:3,2 (em massa) e relação água/cimento 0,6, moldados em misturador mecânico, levados a forma específica, introduzidos pinos metálicos para medição futura e aferida a temperatura da água de cada amostra. Na Figura 3 podem ser vistos alguns dos materiais usados.



Figura 3– Materiais usados do ensaio acelerado

Fonte: Autores (2017)

A cura inicial se deu em câmara úmida, ainda em seus moldes, por 48h. Após esse tempo, foi feita a desmoldagem e todas as amostras passaram 12 dias em água saturada por cal, e ao final desse tempo foi realizada a primeira medição (Li) no extensômetro. A etapa final que exige medição de 14, 28, 42 dias é composta por cada amostra submersa em suas respectivas soluções e mantidas em estufa com temperatura constante de 40 graus podendo ter uma variação de até 2 graus.

4 | RESULTADOS

De acordo com a NBR 13583/14 inicialmente calculam-se as expansões individuais, que são dadas através da diferença entre o valor medido na idade correspondente e a leitura inicial, dividida pelo seu comprimento efetivo e multiplicado por 100, depois faz-se a média aritmética, com resultados obtidos na Tabela 1.

	Nº da amostra	Comprimento efetivo	Medições				Média aritmética (%)
			Li (%)	14 (%)	28 (%)	42 (%)	
SULFATO DE MAGNÉSIO	8	252,10	1,705	0,034	1,034	1,048	1,057
	9	251,80	1,541	0,015	1,021	1,085	
	10	252,50	1,872	0,019	1,023	1,038	
AMOSTRAS DE REFERÊNCIA	16	252,00	1,448	0,008	1,002	1,008	1,013
	17	251,40	1,586	0,106	1,048	1,032	
	18	252,00	1,740	-0,005	0,991	0,998	
SULFATO DE SÓDIO	13	251,50	1,087	0,018	1,021	1,047	1,037
	14	251,70	1,301	0,014	1,013	1,011	
	15	251,90	1,399	0,025	1,032	1,052	

Tabela 1: Expansão individual

Fonte: Autores, 2017.

O resultado é expresso pelo aumento ou diminuição da expansão da argamassa, calculada pela diferença entre a expansão média das barras em soluções agressivas e a expansão média das barras saturadas com cal. Os resultados estão apresentados no Gráfico 1.

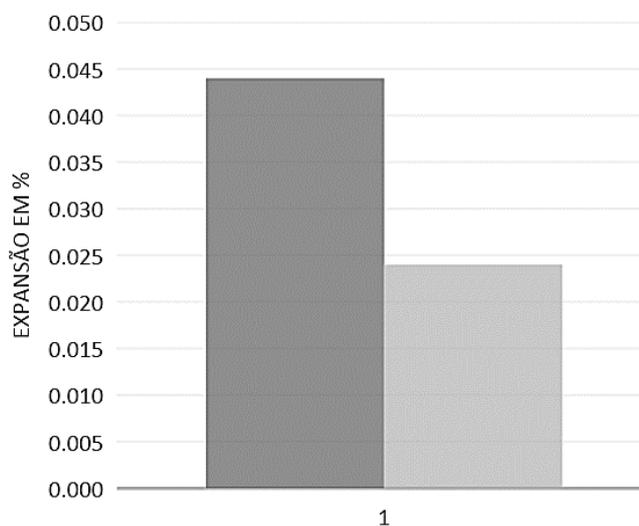


Gráfico 1 – Expansão individual

Fonte: Autores, 2017

Os dados obtidos demonstram que as famílias apresentaram comportamentos distintos quando expostas às soluções. Com 14 dias as amostras contendo sulfato de sódio já apresentaram degradação das arestas, enquanto as amostras com sulfato de magnésio apresentaram manchas brancas em sua superfície, e suas arestas permaneceram intactas por todo o ensaio. No entanto quando medidas, as barras

expostas à solução de magnésio apresentaram maior expansão linear. O avanço da degradação dos corpos de prova pode ser visto nas Figuras 4 e 5.



Figura 4– Degradação por sulfato de sódio

Fonte: Autores, 2017



Figura 5 – Degradação por sulfato de magnésio

Fonte: Autores, 2017

5 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que o cimento estudado (CPII-Z-32) pode ser considerado resistente ao sulfato de sódio, porém, vulnerável ao ataque por sulfato de magnésio por ultrapassar o limite de 0,03% estabelecido em norma. Em contrapartida, aparentemente as amostras submersas em solução de sulfato de sódio, para essas condições, apresentaram maior degradação de sua superfície como mostrado nas Figuras 4 e 5.

O ataque ao concreto por íons sulfatos pode provocar o comprometimento da estrutura após o processo de hidratação do cimento com a formação de etringita ou taumasita. Em fundações de edifícios as variações do nível de água constituem fator de deterioração, da mesma forma que construções expostas a ciclos de molhagem e secagem como ambientes salinos, causam a cristalização de sais nos poros, podendo haver formação da etringita seguida de lixiviação e perda de massa. É fato que, as análises feitas apenas em laboratório não levam em consideração todas as variáveis envolvidas no processo ocorrido em campo, porém é um método possível para prever o dano antes dele ocorrer.

Desta maneira o ataque por sulfatos pode ser evitado utilizando cimentos resistentes a sulfatos ou com baixo teor de C_3A e mais adições pozolânicas. Também

pode-se fazer a execução da drenagem do solo junto às fundações, pois, o sal seco não ataca a estrutura de concreto, nem fundações de paredes estruturais constituídas de blocos de concreto. Devem-se realizar ensaios da água do subsolo e do próprio solo, anteriormente à construção, para se identificar possíveis ações dos sulfatos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento – Especificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13583**: Cimento Portland - Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M., **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto. Cadernos de Engenharia de Estruturas**. n.8. EESC. Universidade de São Paulo, 1999.

BROWN, P. W.; BOTHE Jr, J. V. **The stability of ettringite. Advances in Cement Research**, nº18, 1993.

CRAMMOND, N. **The occurrence of thaumasite in modern construction - a review, Cement and Concrete Research**, v. 24, 2002.

CZEREWKO, M.A; CRIPPS, J.C.; REID, J.M.; DUFFELL, C.G. **Sulphur species in geological materials - sources and quantification, Cement and Concrete Composites**, v. 25, 2003.

DIVET, L.; RANDRIAMBOLOLONA, R. Delayed ettringite formation: the effect of temperature and basicity on the interaction of sulfate and C-S-H phase. **Cement and Concrete Research**, 1998.

GLASSER, F. P. **Chemistry of the alkali-aggregate reaction**. In: SWAMY, R. N. The Alkali-Silica Reaction in Concrete. Glasgow, London: Blackie, New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

HARTSHORN, S. A.; SHARP, J.H.; SWAMY, R.N. **Thaumasite formation in Portland - limestone cement pastes. Cement and Concrete Research**. V29, 1999.

KOLLMAN, H.; STRUBEL, G.; TROST, F. **Reaction mechanisms in the formation of expansion nuclei in lime-gypsum plasters by ettringite**, 1997.

LEIFELD, G.; MUNCHBERG, W.; STEGMAIER, W. **Ettringite and thaumasite as causes of expansion in lime-gypsum plasters**. Zement-Kalk-Gips, 1970.

LIMA, M. G.; **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, cap. 24, ed. G. C. Isaia, São Paulo, IBRACON, 2005.

MARCIANO, Z. A. N. **Desenvolvimento de um método acelerado para avaliação da resistência de argamassas de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio**. 1993. Dissertação - Universidade de São Paulo. 1993.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**, São Paulo, Pini, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São

Paulo: IBRACON, 2008.

MOUKWA, M., **Cement and Concrete Research**, v. 20, n. 3, 1990.

NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**. 5th ed. Pearson Education Limited, London, 2011.

SANTHANAM, M; COHEN, M. D.; OLEK, Jan. Mechanism of sulfate attack: a fresh look Part 2. Proposed mechanisms. **Cement and Concrete Research**, nº33, 2003.

SOUZA, R. B. de. **Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque por sulfatos – método de ensaio acelerado**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. 2a Edição, New York, editor: Thomas Telford, 1997.

TUTHILL. L. H., **Lasting Concrete in a Sulfate Environment**. Concrete Interntional, Dec., 1988.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-244-9

