



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

DURABILIDADE DE ESTRUTURAS CIMENTÍCIAS SUBMETIDAS A ATAQUES DE ÍONS SULFATOS

Artur Buarque Luna Silva

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: A agressividade do meio onde as estruturas de concreto estão inseridas pode reduzir a vida útil das mesmas significativamente. Existe uma preocupação sistemática dos pesquisadores com relação à durabilidade dos materiais, principalmente em relação a resistência do concreto exposto à soluções agressivas de sulfatos, uma vez que estruturas de base cimentícia expostas a esses meios apresentam sinais de deterioração. Os íons sulfatos reagindo com os produtos de hidratação do cimento formam gipsita e etringita secundária que, por apresentar características expansivas, levam à deterioração do concreto. Casos de ataques de sulfatos recorrentes em estruturas de base cimentícia em ambientes isentos desses íons têm sido registrados na

literatura. Ataques dessa natureza tem suposta origem da ação de íons sulfatos internos ao concreto, provenientes de seus constituintes, sejam eles os agregados, a água de amassamento ou até mesmo o próprio cimento. São apresentados resultados de expansão linear de corpos de prova executados em conformidade com a norma NBR 13583:2014, realizados com a finalidade de avaliação do tipo de cimento utilizado com o ataque por sulfatos. **PALAVRAS-CHAVE:** Ataque por sulfatos, ensaio acelerado, durabilidade ao ataque por sulfatos

ABSTRACT: According to Souza (2006), there is a systematic concern among researchers regarding the durability of the materials, especially in relation to the resistance of the concrete exposed to the aggressive solutions of Sulphates, since cement-based structures exposed to these media showed signs of deterioration. The sulfate ions reacting with the cement hydration products form gypsite and secondary ettringite which, because of the expansive properties, lead to the deterioration of the concrete. Case studies of sulfate attacks on cement-based structures in environments free of these ions have been reported in the literature. Attacks of this nature have supposed origin of the action of internal sulfates ions to the concrete, coming from their constituents, be

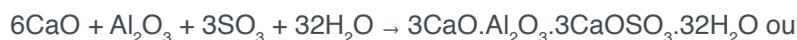
they the aggregates, the water of kneading or even the own cement. Results of linear expansion of test pieces performed with foundation in the norm NBR 13583:2014, carried out for the purpose of evaluation between the type of cement used with the attack by sulfates are presented.

KEYWORDS: Sulphate attack, accelerated test, sulfate attack durability

1 | INTRODUÇÃO

A etringita é um mineral que se forma já nas primeiras fases da mistura do cimento com água. Influencia não apenas na hidratação do cimento, mas, tem papel vital na durabilidade do concreto. O entendimento do seu comportamento é de grande importância, apesar de não estar completamente dominado, sendo um assunto de grande debate atualmente.

A formação do mineral etringita, também conhecido pela denominação “sal de Candlot” é um produto da reação formada durante o período inicial de hidratação do cimento, pela combinação de sulfatos encontrados em solução aquosa e o aluminato tricálcio (C_3A) ou ferroaluminato de cálcio (C_4AF), a mesma está mais propriamente ligada ao fenômeno de pega do cimento. Segundo Ribeiro (1997) a formação de etringita pode ser apresentada esquematicamente pela seguinte reação química:



A geração desse mineral pode ser processada de duas maneiras. Na primeira que ocorre de forma imediata (dentro de horas ou dias) e homogeneamente distribuída em uma argamassa ou concreto denominada etringita primária, a expansão volumétrica ocasionada na geração desses cristais não provoca tensões que ocasionaria rupturas localizadas no concreto ou argamassa. O segundo caso de geração é conhecido como formação de etringita secundária, ou etringita tardia, essa formação ocorre associada com problemas preexistentes como fissuras e escamações no concreto endurecido e rígido. Entretanto, de acordo com Collepardi (1999), não são necessariamente as causas desses problemas. No processo de formação da etringita tardia, relacionada à fonte de sulfatos, tem-se:

Ataque sulfático externo, quando a penetração de íons sulfatos ocorre do meio externo e penetram na estrutura do concreto;

Ataque sulfático interno, ocorre quando o ataque acontece em um meio externo livre de sulfato, pela liberação tardia de sulfatos de agregados ou de fases mineralógicas do clínquer contaminado contendo SO_3 .

Analisando os problemas provenientes do processo de formação de etringita secundária resultantes de sulfatos internos, mais especificamente de sulfatos

encontrados no clínquer portland, dois modelos de curas são possíveis, descreve Klemm e Miller (1997): concreto submetido à cura térmica e concreto submetido à cura sob condições naturais.

O primeiro processo de cura, a térmica a vapor é mais utilizado na fabricação de produtos de concreto e de argamassa, pré-moldados, com o objetivo de acelerar o desenvolvimento da resistência mecânica inicial. Camarini e Cincotto (1997) afirmam que esse procedimento segue ciclos de cura com vários períodos.

Colleparidi (1999) conceitua que após a cura a temperaturas elevadas, a formação de etringita ocorre dentro da matriz do gel de C-S-H, porém esses cristais não são detectados por difratometria de raios X, sendo possivelmente microcristalinos, mal orientados e com conteúdos de água variáveis ou baixos. De acordo com esse modelo, quando o material é submetido a condições de temperatura ambiente e umidade elevada, ocorre recristalização da etringita gerando grandes aglomerados nos poros e fraturas do concreto ou fendas que rodeiam as partículas de agregados.

A etringita encontrada em concreto endurecido não é um problema apenas do tratamento térmico. Acontece também em concretos não tratados termicamente e que são expostos a condições normais de variação climática. O conteúdo de etringita formado durante a hidratação decresce com a temperatura acima de 70° e, dependendo das características do cimento, não ocorre etringita na pasta após a cura em temperatura elevada. O vapor gerado pelo processo de cura destrói a etringita que foi formada no estágio plástico do concreto fresco. Scrivener e Lewes (1997) relatam que a formação de etringita secundária depende do conteúdo de SO₃ no cimento.

Em testes realizados em laboratório, Kehlam (1997) concluiu que a temperatura de cura é claramente o fator determinante para o desenvolvimento de expansões em argamassas e concretos. A partir dos resultados foi possível observar que cimentos preparados a partir de clínqueres com excesso de SO₃ não apresentam expansões anômalas sob condições normais de cura, em temperatura ambiente.

A partir da revisão bibliográfica realizada foi possível observar que a formação de etringita secundária pode ocorrer em fraturas e poros, após cura térmica ou não, porém sua formação não tem influência direta na expansão que ocasiona eventual fratura ou escamação. Baltic *et al.* (2000) relatam que esses fenômenos de deterioração estrutural ou fadiga podem estar associados a outros fatores como reações álcali-agregado, ciclos de exposição a umidade e seco, ações de cargas dinâmicas, zona de transição fraca na interface com agregado ou com o aço, coeficiente de dilatação térmica dos agregados, entre outros, que causam padrões específicos de microfissuras e espaços para a cristalização da etringita.

A ocorrência de etringita em concretos mais porosos ocorre sob a forma de cristais delgados e curtos. No interior de poros e fraturas, os cristais são mais desenvolvidos e, em alguns casos formam-se densas aglomerações desses cristais. Essa característica é um indicativo de que a etringita cristalizada se ajusta ao espaço disponível, sem exercer nenhuma ação expansiva.

Colleparidi (1999) é categórico ao afirmar que na ausência de um ou dois dos seguintes elementos, não ocorre a formação de etringita secundária: presença de microfissuras, exposição à água e liberação tardia de sulfatos (meio interno e externo). A forma mais abrangente de ataque por sulfatos, segundo estudos de várias décadas, é a resultante do ingresso de íons sulfato de uma fonte externa para o interior da pasta de cimento hidratada. Os sulfatos difundem-se no interior do concreto, e demais materiais de base cimentícia, através dos seus poros. No interior da pasta de cimento hidratada, os sulfatos reagem com o cálcio para formar gipsita e com as fontes de cálcio e alumínio para formar etringita. Estes compostos formados são prejudiciais à estrutura cimentícia. Esse modelo de ataque ao cimento por águas sulfatadas é bastante conhecido e se medidas preventivas não forem tomadas ocorre comprometimento da obra decorrente da expansão causada pela formação de componentes deletérios.

Embora o mecanismo efetivo do ataque do concreto por sulfatos não esteja totalmente esclarecido até hoje, os pesquisadores são unânimes em considerar que as fases de aluminato de cálcio do clínquer são as principais responsáveis pelo fenômeno. Desta forma, cimentos produzidos com clínqueres de baixo teor em aluminato tricálcico (C_3A), são potencialmente inibidores da reação com sulfatos. Existe unanimidade em aceitar que o aumento do teor de escória ou pozolana leva ao aumento da resistência aos sulfatos do concreto. Esse incremento de resistência é atribuído principalmente a:

1. combinação da escória ou da pozolana, com o hidróxido de cálcio, formando C-S-H e deixando menor quantidade de $Ca(OH)_2$ livre;
2. refinamento da estrutura dos poros, dificultando a difusibilidade iônica e
3. modificação da química do sistema, com formação de monossulfatoaluminato no lugar de etringita e, conseqüentemente, com expansão insignificante.

Sendo assim, os cimentos com escória ou pozolanas possuem melhor resistência aos sulfatos por apresentarem baixo teor de C_3A e pequena liberação de $Ca(OH)_2$ durante a hidratação, componentes esses imprescindíveis para reagir com sulfatos para formar a etringita expansiva.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A maioria dos métodos existentes, onde se verifica a suscetibilidade de materiais de base cimentícia ao ataque por sulfatos, utiliza corpos de prova prismáticos, geralmente submersos em soluções ricas em sulfatos de sódio ou magnésio e que tem como parâmetro a expansão ou a perda de resistência no ensaio a compressão. Para comprovar a resistência aos sulfatos, corpos de prova foram submetidos ao método de ensaio preconizado pela NBR 13583:2014.

O método tem por objetivo avaliar a resistência da argamassa aos sulfatos

por meio da medição da variação dimensional em barras prismáticas de dimensões 25x25x285 mm submetidos a condições agressivas de cura em solução aquosa sulfatada.

Foram confeccionadas oito barras com argamassa de traço 1:3,2 e relação água/cimento igual a 0,60 para cada tipo de cimento. Após cura ao ar em câmara úmida por 48 horas (cura inicial), as barras são desmoldadas, permanecendo imersas em água saturada com cal durante o período de 12 dias (cura intermediária).

Após os períodos de cura inicial e intermediária, as barras são separadas em duas séries, de quatro corpos-de-prova, sendo um série armazenada em um recipiente contendo água com cal e a outra série sendo armazenada em recipiente com concentração de 100 g de sulfato/L de água. Ambos os recipientes são submetidos a uma temperatura de $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 42 dias. As leituras dos comprimentos das barras são feitas nas idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias. O resultado do ensaio acelerado é a diferença entre a expansão na solução agressiva e na água saturada de cal. Foram selecionadas três amostras de cimento de tipos diferentes com as mesmas resistências à compressão conforme o Quadro 1.

| Amostra | Tipo de Cimento |
|---------|-----------------|
| I | CP II-Z-32 |
| II | CP II-F-32 |
| III | CP IV-32 |

Quadro 1 – Identificação dos cimentos analisados

A determinação da variação dimensional foi realizada com auxílio de extensômetro, onde foram obtidas as dimensões dos corpos de prova prismáticos (2,5x2,5x28,5) cm, lembrando que para encaixe do extensômetro necessitou do auxílio de pinos em seus eixos principais, conforme recomenda a NBR 13583 (ABNT, 2014).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados os resultados do ensaio de determinação da reatividade ao ataque por sulfatos das três amostras segundo os procedimentos descritos na NBR 13583:2014. Para determinação da porcentagem de variação dimensional, é calculada a diferença entre o valor medido (em milímetros) na idade correspondente a cada ciclo, e a leitura relativa à medida inicial (em milímetro) ocorrida antes da barra entrar em contato com a solução de sulfato, o resultado é dividido pelo comprimento efetivo (em milímetros) e multiplicado por 100. Vale ressaltar também que o resultado é obtido a partir da média aritmética das expansões individuais, em porcentagem, dos quatro corpos de prova ensaiados.

Sendo os resultados das expansões verificadas nas barras de argamassa confeccionadas com os cimentos em estudo constantes no Quadro 2.

| Idade (dias) | Amostras | | |
|--------------|--------------|-----------------|------------------|
| | I (CP IV-32) | II (CP II-Z-32) | III (CP II-F-32) |
| 7 | 0,0071 | 0,0080 | 0,0071 |
| 14 | 0,0042 | 0,0081 | 0,0122 |
| 21 | 0,0053 | 0,0092 | 0,0204 |
| 28 | 0,0020 | 0,0084 | 0,0286 |
| 35 | 0,0042 | 0,0085 | 0,0408 |
| 42 | 0,0041 | 0,0137 | 0,0585 |

Quadro 2 – Expansão média das barras de argamassa por idade de cura

Os resultados obtidos demonstram que as três amostras apresentam comportamento distintos quanto ao ensaio de expansibilidade linear, ocasionado pelo ataque por íons sulfatos, conforme Figura 1.

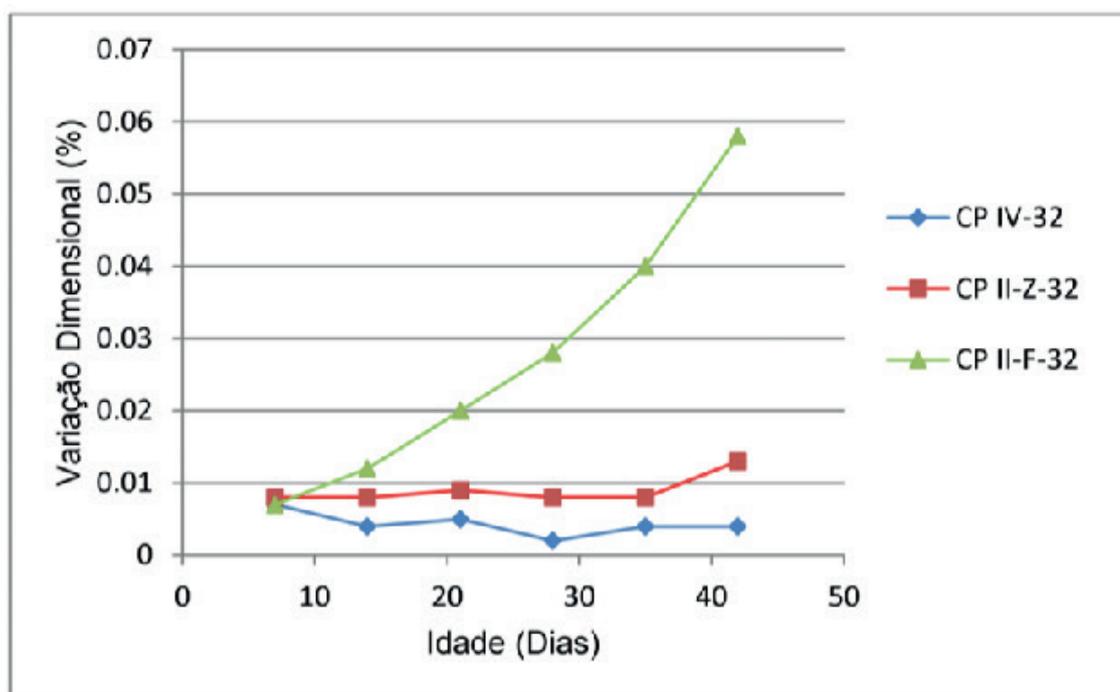


Figura 1 – Variação dimensional para as três amostras

Os resultados obtidos demonstram que as três amostras apresentam comportamento distintos quanto ao ensaio de expansibilidade linear, ocasionado pelo ataque de íons sulfatos.

Assim, a amostra I (CP IV-32), apresentou expansão média das barras inferior à amostra II (CP II-Z-32). Essas duas amostras são resistentes a sulfatos, fato não observado para a amostra III (CP II-F-32). Essa amostra exibiu expansão aos 42 dias de cura em solução de sulfato de sódio superior ao limite máximo de 0,030% adotado empiricamente como critério preliminar para definir um cimento resistente aos sulfatos. No entanto, a NBR 5737 - Cimentos Resistentes a Sulfatos – Especificação, não define um valor de expansão limite para esse ensaio.

Os dados obtidos demonstram que os três tipos de cimento (amostras I, II, III), produzidos com quantidades de clínquer distintas, apresentaram um comportamento diferenciado, sendo a amostra I e II resistente ao ataque por íons sulfatos e a amostra III não resistente.

4 | CONCLUSÕES

O ataque ao concreto por íons sulfatos pode provocar comprometimento de sua estrutura, sendo o fenômeno causado pela cristalização do mineral etringita, após o processo de hidratação do cimento (etringita tardia). A etringita ($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) origina-se da reação de sulfatos dissolvidos na água com o aluminato tricálcico do cimento, cuja cristalização é acompanhada de expansão, proporcionando fissuras e deterioração do concreto.

A formação de etringita secundária é função do conteúdo de aluminato tricálcico do cimento, teor de sulfato disponível e presença de água. Sendo assim, cimento que contenha em sua composição baixo teor de aluminato tricálcico pode ser considerado resistente ao ataque de sulfatos. Cimentos com baixo teor de aluminato tricálcico podem ser obtidos pela fabricação de clínqueres contendo teores baixos de aluminato tricálcico ou através da adição de escória granulada de alto-forno ou pozolanas ao cimento.

Os resultados obtidos com a análise de cinco amostras de cimento confirmam a importância do conteúdo de aluminato tricálcico no cimento. Em condições de excesso de íons sulfato e umidade, a inibição da expansão causada pela formação de etringita foi observada em duas amostras. A amostra III foi a única que apresentou problemas de durabilidade, tendo-se estimado um maior teor de aluminato tricálcico nessa amostra.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992). **Cimentos Portland Resistentes a Sulfatos**. NBR 5737. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). **Cimento Portland – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio**. NBR 13583. Rio de Janeiro.

Baltic, O. R., Milanesi, C. A., Maiza, P. J., Marfil, S. A. (2000). **Cement and Concrete Research**, n.30, p. 1407-1412.

Camarini, G., Cincotto, M. A. (1997). **Proceedings of 10th International Congress on the Chemistry of Cement**. Gotemburg, Sweden, 4iv 063 p.4.

Colleparidi, M. (1999). **Proceedings of 2nd CANMET/ACI International Conference**, Gramado, Rio Grande do Sul.

Kehlam, S. (1997). **Proceedings of 10th International Congress on the Chemistry of Cement**.

Gotemburgo, Suécia, 4iv 060 p.8.

Klemm, W. A., Miller, F. M. (1997). **Proceedings of 10th International Congress on the Chemistry of Cement**. Gotemburg, Sweden, 4iv 059 p.10.

Ribeiro, M. S. S. (1997). **Associação Técnica da Indústria de Cimento ATIC**, Portugal, nº 20.

Scrivener, K., Lewes, M. (1997). **Proceedings of 10th International Congress on the Chemistry of Cement**. Gotemburg, Sweden, 4iv 061 p.8.

Souza, R. B. (2006). **Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque por sulfatos – métodos de ensaio acelerado**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Brasil.

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

