

DEGRADAÇÃO DE CONCRETOS POR ATAQUES DE ÍONS DE SULFATOS

Camila Soares (Universidade Tuiuti do Paraná) camila-soares@hotmail.com
Jéssica Figueiredo Chaves (Universidade Tuiuti do Paraná) cf-jessica@hotmail.com
Daniela Evaniki Pedroso (Universidade Tuiuti do Paraná) daniela.pedroso@utp.br

Resumo:

As patologias que surgem nas estruturas, podem estar relacionadas a reações químicas por ações de íons de sulfatos que ocorrem nos concretos e argamassas, as diversas linhas de pesquisas demonstram que esse problema é cada vez mais frequente. Sem um parâmetro normativo, fica ainda mais difícil identificar as causas dessas deteriorações, é possível consultara NBR 6118 (ABNT, 2014), sendo a norma técnica que traz as especificações de projeto estrutural em concreto, possuindo alguns itens relacionados a ação de sulfatos nos elementos em concreto, que é baseada na norma NBR 5737 (ABNT, 1992), mas as mesmas não contam com informações quando ao tipo de cimento, de forma a evitar o ataque de sulfatos. Havendo essas omissões sobre o tipo e consumo mínimo de cimento a se usar em cada ambiente, em função da ação/ataque de sulfatos em diferentes idades da estrutura, leva-se a necessidade da pesquisa que avaliem diferentes situações de maneira conclusiva e efetiva. Neste trabalho, foram desenvolvidos diferentes corpos de prova de argamassas, utilizando cimentos de classe CII-Z-32 e CII-V, variando o fator água/cimento em cada composição, qual ficaram sujeitos aos ataques de sulfatos de cálcio e magnésio em diferentes períodos de cura, a fim de verificar as mudanças nas características de expansibilidade, resistência e variação de massa. O Cimento utilizado apresentaram resistências a compressão próximas em todos as situações a que foram expostos, porém não atingiram a resistência de 32MPa como descrito pelos fabricantes. No aspecto expansibilidade nenhum dos corpos de prova atenderam a NBR 13583 (ABNT, 2014).

Palavras chave: Cimento, Sulfato, Argamassa, Corpos de Prova.

Abstract

The pathologies that arise in the structures, may be related to chemical reactions by actions of sulphate ions that occur in concrete and mortars, the various lines of research demonstrate that this problem is more and more frequent.

Without a normative parameter, it is even more difficult to identify the causes of these deteriorations, it is possible to consult with NBR 6118 (ABNT, 2014), being the technical norm that brings the structural design specifications in concrete, having some items related to the action of sulphates in the elements in concrete, which is based on the norm NBR 5737 (ABNT, 1992), but they do not have information when the type of cement, in order to avoid the attack of sulphates.

If these omissions on the type and minimum consumption of cement to be used in each environment, as a function of the action / attack of sulphates at different ages of the structure, it is necessary the research that evaluates different situations in a conclusive and effective way. This mortar specimens, using CII-Z-32 and CII-V class cements, varying the water / cement factor in each composition, which were subjected to attacks of calcium and magnesium sulphates in different in order to verify the changes in the characteristics of expandability, resistance and mass variation.

The cement used showed close compressive strengths in all the situations to which they were exposed, but did not reach the resistance of 32MPa as described by the manufacturers. In the expandability aspect, none of the specimens met NBR 13583 (ABNT, 2014).

Key-words: Cement, Sulphate, Mortar, Test Bodies.

1. Introdução

A argamassa e o concreto a partir do momento que executados, passam a ficar expostos ao meio ambiente e sujeitos aos ataques químicos quando presentes. As estruturas reagem à ataques químicos, assim alterando suas propriedades e comprometendo suas características, levando a perda de resistência ao longo do tempo.

Conforme Zhang *et al.*, (2017), a vida útil das estruturas estão intimamente relacionadas ao ambiente de serviço, qual sofrem com a corrosão de íons nocivos no ambiente do oceano ou lago salgado, resultando em degradação das propriedades mecânicas e durabilidade concreto. O intemperismo salino é um dos mais importantes mecanismos de degradação dos materiais, quando a estrutura está em contato com o solo, que contenha sal (especialmente sulfatos) na água subterrânea, pode proporcionar a entrada da água contaminada através dos poros existente, causando degradação da estrutura (LIU *et al.*, 2017).

Para Mehta (2014), o ataque por sulfatos pode se manifestar por fissuração ou expansão, em concretos ou argamassa, podendo aumentar a permeabilidade, causando problemas estruturais e assim inicia-se um processo de corrosão das armaduras, comprometendo o elemento ou até mesmo toda uma estrutura. Apesar de intensamente pesquisada, essa forma de degradação devido ao ataque por sulfatos ainda não está completamente compreendida (DEPUY, 1994).

Os sulfatos estão presentes de várias formas, nos solos, em produtos industriais, na água em suas diferentes formas, após o contato com metais pesados e muitas vezes em suspensão no ar quando há fontes de poluição próximas ao local atingido pela reação.

Entre os diversos ambientes qual os concretos e argamassas ficam vulneráveis ao ataque por sulfato, muito desses casos pode haver a prevenção ou mesmo não ocorrer, se medidas corretas forem tomadas durante a fase de projeto e execução das estruturas. Situações comuns de exposição a agentes agressivos têm sido muito investigadas e, em virtude disso, recomendações gerais básicas foram desenvolvidas (DEPUY, 1994). Porém o mesmo autor garante que “torna-se cada vez mais importante que os engenheiros tenham um bom entendimento das reações químicas, dos fatores que governam as reações e dos mecanismos que causam a deterioração do concreto”, uma vez que o ataque a sulfato depende das variáveis envolvidas, necessitando assim, maior conhecimento ao ambiente que será executado e das variáveis presentes no meio. Somente realizando esse estudo mais profundo da área a ser implantado, poderá prever e executar concretos e argamassas mais duráveis, frente aos ataques de íons de sulfatos existentes em diversos tipos de ambiente que forem executados.

2. Tipos de cimentos

Conforme Metha e Monteiro (2014), a definição para cimento Portland, é um material hidráulico produzido pela pulverização de clínqueres constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos cristalinos e até 5% de calcário como adição na moagem. Clínqueres são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de material sintetizado que é produzido quando uma mistura de matérias-primas com proporções adequadas é exposta a altas temperaturas. Após o processo que obtém o clínquer, o material é resfriado e moído até resultar em um pó fino e posteriormente acrescentado as adições, podendo ser de gesso, pozolana, filler, calcário e escória, que compõem as características dos cimentos comercializados. Logo o cimento pode ser caracterizado por comum ou composto, características essas que alteram as propriedades físicas e químicas, influenciando na velocidade de ganho de resistência, de liberação de calor de hidratação ou na resistência aos sulfatos.

3. Mecanismo dos sulfatos

Os sulfatos estão presentes de várias formas, nos solos, em produtos industriais, na água em suas diferentes formas, após o contato com metais pesados e muitas vezes em suspensão no ar quando há fontes de poluição próximas ao local atingido pela reação.

O ataque se inicia nas partes mais próximas da superfície, podendo migrar para as partes mais internas. A evolução desses ataques para o interior da estrutura, depende de sua porosidade e permeabilidade, podendo haver o aumento dessa porosidade e surgimento de fissuras no decorrer do ataque, acelerando os processos. Na maioria das vezes, o cimento endurecido é a única estrutura atacada, porém, algumas vezes o ataque pode se direcionar aos agregados (SKALNY *et al.*, 2002).

A maneira mais comum de agressão por sulfatos, é resultante de ataques por fontes externas onde há a infiltração de íons sulfato, que provocam aberturas dos poros da pasta de cimento, para o interior da estrutura.

3.1 Tipos de ataques

O termo ataque está relacionado ao ato destrutivo, que irá estragar, danificar, desgastar, corroer, (FERREIRA, 1986). Portanto o ataque de sulfatos pode ocorrer por meio físico ou químico, qual ocorre internamente ou externo, conforme são classificados. Os ataques externos provem de fatores externos, segundo Souza (2006), os ataques por sulfatos podem ocorrer de quatro formas: acesso do íon sulfato para dentro da pasta, cristalização dos sais de sulfato, formação de etringita e formação de taumasita.

De modo geral, pode-se caracterizar o processo de ataque por sulfatos em três etapas: em função da permeabilidade a difusão dos íons agressivos para o interior do concreto; interações químicas entre os íons e os produtos de hidratação do cimento; e, por fim, a fissuração da matriz do cimento tanto pela expansão quanto, em alguns casos, pela perda de resistência através da descalcificação do silicato de cálcio hidratado, que provoca deterioração da matriz cimentante (NEVILLE, 2013; SANTHANAM *et al.*, 2003; SOUZA, 2006; MEHTA E MONTEIRO, 2014).

3.2 Prevenir os ataques de sulfatos

Os ataques por sulfatos ocorrem através das reações do meio com os componentes do cimento, e estudos desenvolvidos apontaram que uma das formas de prevenir a reação é a diminuição do C_3A existente no cimento, porém não é o suficiente para evitar a formação da gipsita.

Segundo Varela (2016), a redução da permeabilidade do concreto acarreta em uma redução do ingresso de sulfatos na matriz do cimento retardando, assim, as reações de ataque. O emprego de baixos teores de água/cimento e a execução de uma boa cura são fatores importantes para a garantia de uma baixa porosidade no concreto formado e, portanto, uma baixa permeabilidade.

Metha e Monteiro (2014), apontam que a relação água/cimento influencia diretamente no enfraquecimento progressivo da matriz, causando pela porosidade, pois a relação água/cimento proporciona quanto menor o grau de hidratação, maiores poros haverá em sua estruturas. Estudos conduzidos por Monteiro e Kurtis (2003) reportam que espécimes de concreto fabricados com relações água/cimento menores que 0,45 não sofreram falhas decorrentes de ataques de sulfatos durante 40 anos em que foram observados, assim é possível o aumento da resistência a sulfatos de cimentos através da adição de materiais alternativos

qual otimizam a composição química do cimento, como a utilização do hidróxido de cálcio em reações pozolânicas e escória granulada de alto forno. A utilização de escória permite um concreto pouco permeável e dilui a quantidade de hidróxido de cálcio presentes em sua composição.

3.2 Recomendações da norma brasileira

No Brasil a norma que rege os procedimentos básicos para o dimensionamento da estrutura em concreto é a NBR 6118 (ABNT 2014), que no item 6.4 aborda sobre a agressividade ambiental, que contemplam as ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independente das ações mecânicas, das variações volumétrica de origem térmicas, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

Para o ataque a sulfatos, a NBR 12655 (ABNT 2015), estabelece que concretos expostos a solos ou soluções contendo sulfatos, devem ser preparados com cimentos, conforme NBR 5737 (ABNT 1994). E atender, conforme Tabela 1, no que refere-se a relação água/cimento e a resistência a compressão do concreto (f_{ck}).

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO ₄) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel em água (SO ₄) presente no água ppm	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal ^a	Mínimo f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,0	0 a 150	Conforme Tabela 2	Conforme Tabela 2
Moderada ^b	0,10 a 0,2	150 a 1 500	0,50	35
Severa ^c	Acima de 0,20	Acima de 1 500	0,45	40

^aBaixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessária para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

^bA água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfato como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO₄ seja acima 1500 ppm, devido ao fato de que a entrigita é solubilizada na presença de cloretos.

^cPara condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

Adaptado: NBR 12655 (ABNT 2015)

Tabela 1– Requisitos para concreto exposto a solução contendo sulfatos

As normas abordam portanto a classificação quando a agressividade ambiental, determinando a resistência a compressão, cobrimento das armaduras e fator máximo água/cimento. Além do consumo mínimo de cimento por metro cúbico, visto que com a utilização de aditivos, esse consumo de cimento vem cada vez mais diminuindo. Também é importante salientar que quanto maior o controle tecnológico do concreto ou argamassa maior será a durabilidade e vida útil da estrutura

4. Procedimentos Metodológicos

Com o objetivo de determinar a expansibilidade e resistência a compressão de corpos-de-prova em argamassa sujeitos a meios agressivos com presença de sulfato de magnésio e sulfato de cálcio, realizou-se o preparo de massas com dois diferentes tipos de aglomerantes, CII-Z-32 (Cimento Portland composto com pozolana) e CIII-32 RS (Cimento Portland Pozolânico – Resistente a Sulfatos), com dois diferentes traços 1:3:0,45 e 1:3:0,65 (cimento, areia e água, respectivamente), em um misturador mecânico com pás metálicas.

Posteriormente ao preparo da argamassa a mesma foi introduzida nos moldes de corpos-de-prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, através de compactação manual com soquete metálico, segundo a NBR 7215 (ABNT 1996). Foram preparados dois corpos de prova para cada análise, com ciclagem (variação) ou não, segundo a tabela 02, presente no item 4.3 desse artigo. As análises de expansibilidade foram realizadas aos 1 e aos 56 dias, as análises de perda de massa realizadas aos 1 e aos 56 dias, conforme a NBR 13583 (ABNT 2014), e as análises de resistência a compressão aos 90 dias.

4.1 Caracterizações dos materiais

- Aglomerantes: CPII-Z-32 (Cimento Portland composto com pozolana), da empresa Votorantim: Esse aglomerante, com 6% à 14% de pozolana, é indicado para locais em que o contato com a água seja constante. Em adição possui resistência de 32 MPa aos 28 dias; CPIV-32 RS (Cimento Portland Pozolânico – Resistente a Sulfatos), da empresa Itambé: Esse aglomerante, com 15% a 50% de pozolana, é indicado para locais que possuem grande variação de temperatura. Em adição apresenta alta resistência a compressão e a ataque de sulfatos;
- Agregado Miúdo: O agregado miúdo escolhido foi a areia natural, com as características de acordo com a NBR 7214 (ABNT 1982);
- Sulfato de Magnésio: Um dos compostos diluídos na água para gerar o meio agressivo para a argamassa foi o sulfato de magnésio em pó ($MgSO_4$);
- Sulfato de Cálcio: Um dos compostos diluídos na água para gerar o meio agressivo para a argamassa foi o sulfato de magnésio em pó ($CaSO_4$);
- Água: A água utilizada é potável e fornecida pela concessionária local SANEPAR, a temperatura ambiente $<25^{\circ}C$;
- Argamassadeira para laboratórios (misturador mecânico): A argamassadeira, segundo a NBR 7215 (1996) é um misturador mecânico composto por uma cuba de aço com capacidade para 5 litros e uma pá que gira em torno de si mesma e do eixo da cuba.
- Balança: A balança utilizada é eletrônica e possui uma resolução entre 0,1g e 1000g.
- Moldes de corpos de prova: Os moldes escolhidos são cilindros com diâmetros de 50mm e altura de 100mm com todas as superfícies lisas;
- Soquete: O soquete possui um diâmetro de base com 25mm. O equipamento não apresenta desgaste;
- Paquímetro: Ferramenta usada, geralmente, para medir pequenas peças. Possui uma régua graduada com encosto fixo, para o cursor deslizar e bicos em aço inoxidável.

4.2 Desenvolvimento dos traços

Para a realização da análise foi utilizado o traço de 1:3 (cimento:areia) com o fator água cimento de 0,45 e 0,65.

4.3 Preparo dos corpos de prova

A argamassa foi colocada nos moldes com o auxílio da espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com o soquete normal, homogeneamente distribuído. No final realizou-se o nivelamento do corpo-de-prova com a espátula metálica. O Tabela 02 mostra a relação de corpos de prova preparados.

TRAÇO	CIMENTOS	Imersos na Água	Imersos no Magnésio	Imersos no Cálcio	Ciclagem no Magnésio	Ciclagem no Cálcio
1 : 3 : 0,45	CPII	2	2	2	2	2
1 : 3 : 0,45	CPIV	2	2	2	2	2
1 : 3 : 0,65	CPII	2	2		2	2
1 : 3 : 0,65	CPIV	2	2	2	2	2

Fonte: Próprio autor (2018)

Tabela 2 – Relação de corpos de prova desenvolvidos



Figura 1 – Moldagem dos corpos de prova de argamassa



Fonte: Próprio autor (2018)

Figura 2 – Verificação do ataque de sulfatos em corpos de prova de argamassa

4.4 Soluções

Utilizaram-se três recipientes plásticos, limpos e sem danos expressivos na sua estrutura, para dissolução dos sulfatos na água.

Em um recipiente colocou-se 5 litros de água potável, no segundo colocou-se uma solução composta por 5 litros de água potável e 50 gramas de sulfato de magnésio em pó e no terceiro colocou-se uma solução composta por 5 litros de água potável com 50 gramas de sulfato de cálcio em pó.

5. Resultados

Os resultados abaixo são médias dos dados considerando os dois corpos de prova analisados para cada situação:

Medição em dias	CPII - 0,45								
	Imerso Água			Imerso Magnésio			Imerso Cálcio		
	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)
1	5	10	438	4,94	9,955	438,5	4,995	10,06	438,5
56	5,015	10,04	441,5	5,025	10,03	443	5,025	10,105	443,5

Fonte: Próprio autor (2018)

Tabela 3 – Expansibilidade e massa dos corpos de prova imersos, sem ciclagem, traço 1:3:0,45 – CPII

Medição em dias	CPII - 0,65								
	Imerso Água			Imerso Magnésio			Imerso Cálcio		
	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)
1	5	9,95	421,5	4,975	9,99	423,5	4,97	9,85	424
56	5,03	9,87	425,5	5,015	9,995	429	5,015	9,87	428,5

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 04 – Expansibilidade e massa dos corpos de prova imersos, sem ciclagem, traço 1:3:0,65 - CPII

Medição em dias	CPII - 0,45					
	Ciclagem no Magnésio			Ciclagem no Cálcio		
	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)
1	4,99	10,145	415	4,99	10,11	414,5
56	5,02	10,065	432,5	5,01	10,14	428

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 05 – Expansibilidade e massa dos corpos de prova imersos, com ciclagem, traço 1:3:0,45 - CPII

Medição em dias	CPII - 0,65					
	Ciclagem no Magnésio			Ciclagem no Cálcio		
	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)
1	4,99	10	394,5	4,99	9,93	396,5
56	5,01	9,93	410,5	5,035	9,97	411

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 06 – Expansibilidade e massa dos corpos de prova imersos, com ciclagem, traço 1:3:0,65 - CPII

Medição em dias	CPIV - 0,45								
	Imerso Água			Imerso Magnésio			Imerso Cálcio		
	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)
1	5	10,01	426	4,995	10,12	431	7,485	10,12	428
56	5,035	10,04	441,5	5,03	10,14	448,5	5,05	10,19	445,5

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 07 – Expansibilidade e massa dos corpos de prova imersos, sem ciclagem, traço 1:3:0,45 – CPIV

Medição em dias	CPIV - 0,65								
	Imerso Água			Imerso Magnésio			Imerso Cálcio		
	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)
1	4,945	9,9	403,5	4,995	9,86	407	4,95	9,91	405
56	5,025	9,85	416,5	5,02	9,9	425	5,005	9,93	420

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 08 – Expansibilidade e massa dos corpos de prova imersos, sem ciclagem, traço 1:3:0,65 - CPIV

Medição em dias	CPIV - 0,45					
	Ciclagem no Magnésio			Ciclagem no Cálcio		
	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)
1	5	9,855	433,5	5,01	10,01	426
56	5,09	10,17	443,5	5,035	10,08	434,5

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 09 – Expansibilidade e massa dos corpos de prova imersos, com ciclagem, traço 1:3:0,45 - CPIV

Medição em dias	CPIV - 0,65					
	Ciclagem no Magnésio			Ciclagem no Cálcio		
	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (g)
1	5	9,85	392,5	4,98	9,95	396,5
56	5,01	9,91	406	5,005	10,02	409,5

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 10 – Expansibilidade e massa dos corpos de prova imersos, com ciclagem, traço 1:3:0,65 - CPIV

CPII - 0,45		
Imerso Água (MPa)	Imerso Magnésio (MPa)	Imerso Cálcio (MPa)
16,915	16,59	17,825

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 11 – Rompimento aos 90 dias de cura, corpos de prova imersos, sem ciclagem, traço 1:3:0,45 - CPII

CPII - 0,65		
Imerso Água (MPa)	Imerso Magnésio (MPa)	Imerso Cálcio (MPa)
15,53	15,355	15,61

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 12 – Rompimento aos 90 dias de cura, corpos de prova imersos, sem ciclagem, traço 1:3:0,65 - CPII

CPII - 0,45	
Ciclagem no Magnésio (MPa)	Ciclagem no Cálcio (MPa)
15,71	16,4

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 13 – Rompimento aos 90 dias de cura, corpos de prova imersos, com ciclagem, traço 1:3:0,45 - CPII

CPII - 0,65

Ciclagem no Magnésio (MPa)	Ciclagem no Cálcio (MPa)
13,865	15,14

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 14 – Rompimento aos 90 dias de cura, corpos de prova imersos, com ciclagem, traço 1:3:0,65 - CPII

CPIV - 0,45

Imerso Água (MPa)	Imerso Magnésio (MPa)	Imerso Cálcio (MPa)
17,74	14,915	18,655

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 15 – Rompimento aos 90 dias de cura, corpos de prova imersos, sem ciclagem, traço 1:3:0,45 - CPIV

CPIV - 0,65

Imerso Água (MPa)	Imerso Magnésio (MPa)	Imerso Cálcio (MPa)
14,355	16,72	14,195

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 16 – Rompimento aos 90 dias de cura, corpos de prova imersos, sem ciclagem, traço 1:3:0,65 - CPIV

CPIV - 0,45

Ciclagem no Magnésio (MPa)	Ciclagem no Cálcio (MPa)
24,795	16,745

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 17 – Rompimento aos 90 dias de cura, corpos de prova imersos, com ciclagem, traço 1:3:0,45 - CPIV

CPIV - 0,65

Ciclagem no Magnésio (MPa)	Ciclagem no Cálcio (MPa)
17,125	15,51

Fonte: Próprio autor(2018)

Tabela 18 – Rompimento aos 90 dias de cura, corpos de prova imersos, com ciclagem, traço 1:3:0,65 - CPIV



Fonte: Próprio autor (2018)

Figura 3 –Danos físicos causados pelas soluções de sulfatos

6. Conclusão

Observando os resultados é possível verificar que os cimentos CII-Z-32 e CIIV-32 RS apresentaram resistências à compressão próximas em todas as situações a que foram expostos, porém tais resistências não chegaram a 32MPa como descrito pelos fabricantes. Em adição os corpos de prova com fator água cimento 0,45 se mostraram mais resistentes e menos porosos, devido ao maior consumo de aglomerantes.

No aspecto expansibilidade nenhum dos corpos de prova atenderam a NBR 13583 (ABNT 2014), que trata sobre cimentos resistentes a sulfatos, nessa norma dá-se uma tolerância máxima de 0,03% de expansibilidade para cada corpo de prova, sendo assim os corpos de prova ultrapassaram as referências da norma.

As massas dos corpos de prova com cimento CIIV com ciclagem variaram de 2 à 3,5%, com cimento CIIV sem ciclagem de 3,5 à 4,6%, com cimento CII com ciclagem 3,38 à 4,2% e com cimento CII sem ciclagem 0,79 à 1,41%. Essa perda de massa pode se dar pela redução da coesão dos produtos de hidratação.

Pode-se observar também que os corpos de prova que sofreram expansão e perda de massa apresentaram fissuração.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5737 -Cimentos Portland resistentes a sulfatos, 1994.

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, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 - Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118— Projeto de Estruturas de Concreto — Procedimentos, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7214— Areia normal para ensaio de cimento, 1982.

DEPUY, G. W. Chemical resistance of concrete. In: Concrete and concrete-making materials. ASTM STP 169C. Philadelphia. p. 263-281. 1994

FERREIRA, A. B. H. Novo dicionário de língua portuguesa. Nova fronteira, 2º Ed. 1986.

LIU *etal*. Physical sulfate attack on concrete lining—A field case analysis, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2a. ed., São Paulo: Ibracon, 2014

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto — Microestrutura, propriedades e materiais. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, M. J. P. Concreto. Estrutura, propriedades e materiais, São Paulo, 1ª Edição 1994.

MONTEIRO, P. J. M. KURTIS, K. E. Time to failure for concrete exposed to severe sulfate attack. Cement and Concrete Research, 2003



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

NEVILLE, A.; BROOKS, J. J. *Tecnologia do concreto*. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013

SKALNY, J.; MARCHAND, J.; ODLER, I. *Sulfate Attack on Concrete*. 1. Ed. Londres: SPON PRESS, 2002.

SOUZA, R. B. *Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque por sulfatos – método de ensaio acelerado*. São Paulo, 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

VARELA, F.V.M. *Comportamento do cimento supersulfatado ao ataque por sulfatos*, Pato Branco, 2016.

Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná

ZHANG *et al.* *Influence of the initial moist curing time on the sulfate attack resistance of concretes with different binders*, 2017.