

## ANÁLISE SOBRE ATAQUES POR SULFATOS AO CONCRETO DE FUNDAÇÕES

Thalita Mendonça Luz (Centro Universitário Estácio de Ji-Paraná) E-mail: thalitamluz@gmail.com  
Allan Carlos Teles de Matos (Centro Universitário Estácio de Ji-Paraná) E-mail: alantellles@gmail.com  
Elizeu dos Santos Silva (Centro Universitário Estácio de Ji-Paraná) E-mail: elzssv@gmail.com  
Maria Luiza de Paula Cordeiro (Centro Universitário Estácio de Ji-Paraná) E-mail:  
mariacordeiro.jipa@gmail.com  
Matheus Henrique Otenio Fongaro (Centro Universitário Estácio de Ji-Paraná) E-mail:  
matheus.fongaro@gmail.com  
Taine de Oliveira Silva (Centro Universitário Estácio de Ji-Paraná) E-mail: tayne.silva00@gmail.com  
Diego Rodrigues Bonifácio (Centro Universitário Estácio de Ji-Paraná) E-mail:  
diego.bonifacio@estacio.br

**Resumo:** A agressividade do ambiente em que as estruturas de concreto estão inseridas pode reduzir, de maneira significativa, a vida útil destes elementos. Ambientes urbanos, industriais, marítimos, entre outros, representam riscos à estrutura devido, principalmente, à presença de sulfatos. Quando presentes no meio, estes reagem quimicamente com os compostos do concreto, principalmente o aluminato tricálcico, e provoca a expansão dos elementos, fissuração seguida de desagregação do concreto armado das fundações. Assim, as fundações exigem controle de qualidade em sua execução. Este artigo analisou os ataques dos sulfatos nas estruturas de concreto de fundações. Para obtenção dos dados, realizou-se revisão sistemática sobre o tema no portal Google Acadêmico empregando como palavra-chave a expressão “sulfato” e “concreto”. Foram detectadas 16 publicações. Como critérios de exclusão, desconsideraram-se todos os artigos que não se referiam ao ataque de sulfatos em concretos de fundações e optou-se por trabalhos realizados entre os anos de 2010 e 2020. Assim, foram incluídos 05 escritos, além destes, visando enriquecer a abordagem, analisou-se 01 Norma Técnica Brasileira e 06 artigos científicos complementares. Nota-se que a melhor defesa contra o ataque nocivo dos sulfatos é a efetividade do controle de qualidade, mantendo-se a baixa permeabilidade do concreto. Entre os fatores que contribuem para reduzir a permeabilidade do concreto estão o dimensionamento adequado das fundações, baixa relação água-cimento na composição do material e cura adequada.

**Palavras-chave:** Agressividade, sulfatos, concreto, fundações.

## ANALYSIS ON SULFATE ATTACKS ON FOUNDATION CONCRETE

**Abstract:** The aggressiveness of the environment in which concrete structures are inserted can significantly reduce the service life of these elements. Urban, industrial, and marine environments, among others, pose risks to the structure due mainly to the presence of sulfates. When present in the environment, these react chemically with concrete compounds, especially tricalcium aluminate, and cause the expansion of the elements, cracking, followed by disintegration of the reinforced concrete of the foundations. Thus, the foundations require quality control in their execution. This paper analyzed sulfate attacks on concrete foundation structures. To obtain the data, a systematic review on the subject was carried out on the Google Scholar portal using the keywords "sulfate" and "concrete". Sixteen publications were found. As exclusion criteria, all articles that did not refer to sulfate attack in concrete foundations were disregarded, and works carried out between the years 2010 and 2020 were chosen. Thus, 05 writings were included, in addition to these, in order to enrich the approach, 01 Brazilian Technical Standard and 06 complementary scientific articles were analyzed. It is noted that the best defense against the harmful attack of sulfates is the effectiveness of quality control, keeping the low permeability of concrete. Among the factors that contribute to reducing concrete permeability are proper dimensioning of the foundations, low water-cement ratio in the composition of the material and proper curing.

**Keywords:** Aggressiveness, sulfate, concrete, foundation.

### 1. Introdução

Fundações são elementos estruturais com função de transmitir as cargas da superestrutura ao terreno onde estão apoiadas. Assim, as fundações devem ter resistência adequada para

suportar as tensões causadas pelos esforços solicitantes. É preciso também que o solo tenha rigidez e resistência apropriadas para não sofrer ruptura e não apresentar grandes deformações. Além disso, o concreto armado utilizado nas fundações necessita de um controle de produção, a fim de que seja garantido um padrão de qualidade (BARROS, 2019).

Para o concreto armado apresentar adequado desempenho às tensões solicitantes, este depende de fatores como: a qualidade do agregado miúdo e graúdo em sua composição, o aglomerante empregado, o desempenho do aço, entre outros. A relação água/cimento ou cimento/agregados, o uso de aditivos e o processo de cura das fundações também influenciam em seu desempenho. Contudo, também é válido ressaltar que além da utilização de materiais de qualidade e o controle na produção de peças de fundações, a agressividade do ambiente ao qual a peça será exposta é um fator decisivo para a durabilidade e desempenho dos elementos estruturais. Por isso, para que seja adequadamente dimensionada uma fundação, é necessário considerar o ambiente em que ela está inserida. É preciso levar em consideração casos de ambientes agressivos como, por exemplo, áreas costeiras, nas quais existe a presença da maresia e também locais onde há um alto índice de chuva ácida, caso contrário, a peça terá sua vida útil reduzida (BARROS, 2019).

Um dos íons mais recorrentes nesses ambientes classificados como agressivos ao concreto, são os sulfatos. Neste sentido, os elementos à base de cimento, como os de concreto armado, são suscetíveis à ação destrutiva de ambientes contendo sulfatos, tal ação danosa é denominada ataque por sulfatos. O ataque por sulfatos está associado à interação de íons sulfatos com pasta de cimento hidratada, podendo ser evidenciado de diversas maneiras, pois a origem dos íons sulfato pode ser tanto externa quanto interna, podendo estar presentes na água do mar e no lençol freático (BERNAL CASTILLO et al, 2015).

No processo de deterioração provocada pelo ataque por sulfatos, podem-se destacar três etapas. A primeira é a difusão dos íons agressivos para o interior da composição cimentícia, provocada pela porosidade e permeabilidade do elemento estrutural. A segunda etapa são as reações químicas ocorridas entre o íon sulfato e os constituintes hidratados do cimento, em especial a Portlandita ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), monossulfoaluminato e outros aluminatos hidratados, formando espécies químicas que resultam em expansão e acarretam a terceira etapa. Por fim, a terceira etapa é a formação de fissuras nas fundações, associadas à reação química de descalcificação, resultando em perda de resistência e desintegração (BERNAL CASTILLO et al, 2015).

Concomitante ao processo de deterioração das fundações devido ataque por sulfatos, pode-se também ocorrer uma ação danosa oriunda da cristalização de sais, podendo haver a formação de etringita, formação de gipsita e cristalização de sais. Os compostos formados pela reação química de degradação ocupam mais espaço que os compostos originais, acarretando expansão, ruptura e fissuração (HOPPE FILHO, 2014).

Um fator que influencia a intensidade do ataque por sulfatos é a quantidade e natureza do sulfato presente no ambiente, ou seja, quanto maior a concentração de sulfatos no solo ou na água subterrânea, mais intenso será o ataque. Outro aspecto influenciador é o nível da água e sua variação sazonal, bem como, o fluxo da água subterrânea e a porosidade do solo (HOPPE FILHO, 2014).

Diante disso, faz-se relevante analisar os ataques por sulfatos ao concreto de fundações, visto que são problemas frequentemente evidenciados, sendo defeitos que podem ser evitados ou minimizados por meio da aplicação da adequada prática construtiva que, por

sua vez, deve ser estudada e divulgada. Além disso, a maneira que o ambiente é evidenciado é de extrema importância para sua classificação e dimensionamento adequado das fundações (HOPPE FILHO, 2014). Dessa maneira, este estudo visa analisar os ataques dos sulfatos nas estruturas de concreto de fundações.

## **2. Metodologia**

Para o levantamento de literatura foram verificados autores cujas obras abordavam assuntos relacionados ao ataque de sulfatos nas estruturas de concreto de fundações. Para obtenção dos dados, realizou-se revisão sistemática sobre o tema nos portal Google Acadêmico empregando como palavra-chave a expressão “sulfato” e “concreto”. Foram detectados 16 trabalhos. Como critérios de exclusão, desconsideram-se todos os artigos que não se referiam ao ataque de sulfatos em concretos de fundações e optou-se por trabalhos realizados entre os anos de 2010 e 2020. Assim, foram incluídos 05 escritos. Além destes, visando enriquecer a abordagem, analisou-se 01 Norma Técnica Brasileira e 06 artigos científicos complementares.

A pesquisa detectou os aspectos mais relevantes quanto ao ataque de sulfatos em fundações. Inclusive, com base na fundamentação teórica, podem-se estabelecer possíveis análises para os ambientes em que uma fundação está inserida. Dessa forma, verificaram-se os dados, sendo expostos os resultados neste artigo. Considerando o objetivo da pesquisa apresentada, é válido dizer que a mesma é de cunho teórico, pois em termos gerais, são consideradas pesquisas teóricas aquelas que têm como finalidade conhecer ou aprofundar conhecimentos e discussões em determinada área.

E ainda, levando em consideração os procedimentos técnicos utilizados, pode-se afirmar se trata de uma pesquisa do tipo bibliográfica, uma vez que foi desenvolvida tendo como base materiais já elaborados, construído principalmente de artigos científicos. Logo se conclui que as fontes de pesquisa utilizadas neste trabalho, são fontes secundárias. Por fim, foram gerados resultados qualitativos, uma vez que o artigo busca compreender e interpretar determinados comportamentos do objeto estudado.

## **3. Desenvolvimento**

### **3.1 Tipos de fundações**

A fundação é o elemento responsável por transferir a carga da estrutura para a camada mais resistente do solo. Portanto, a escolha do tipo de fundação do edifício depende da resistência da carga e da profundidade da camada resistente. Os tipos de fundações especificados na norma brasileira NBR 6122/2019, são fundações superficiais e fundações profundas. A fundação superficial transfere a carga através de sua base, apresenta pequena profundidade e as deformações do solo podem ser evidenciadas na superfície. Já a fundação profunda transfere a carga para o solo através da base, das laterais ou ambas, apresenta maior profundidade e as deformações do solo dificilmente serão evidenciadas na superfície (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

A escolha do tipo de fundação utilizada na edificação dependerá da resistência à carga e da profundidade da camada de solo. Com base nessas duas informações, adota-se a opção tecnicamente e economicamente viável, com menor tempo de execução e que atenda a todos os padrões de segurança (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

#### **3.1.1 Fundações superficiais**

As fundações superficiais, também chamadas de fundações rasas ou diretas, referem-se àquelas cujas cargas transferidas do edifício para o solo são principalmente transportadas através da base. De acordo com a NBR 6122/2019, a carga no membro da fundação é

transmitida principalmente para o solo através da pressão distribuída sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao solo adjacente é menor que o dobro do tamanho mínimo da fundação (ABNT, 2019). Este tipo de fundação inclui sapatas, blocos, *radiers*, sapatas associadas e vigas baldrame (SANTOS, 2014).

Os blocos são componentes altamente rígidos, frequentemente feitos de concreto simples, e suas dimensões devem ser tais que as tensões de tração geradas no bloco possam ser absorvidas pelo próprio concreto (SOUZA, 2013).

Nas sapatas, a base é parte integrante da fundação, suas dimensões são definidas de modo que a tensão de tração resultante possa ser resistida com o uso de materiais de reforço. A ideia é que a carga que atua sobre a base seja distribuída na área de contato com o solo, e a tensão máxima aplicada seja igual à tensão admissível no solo (SOUZA, 2013).

O *radier* é o elemento que forma a base rasa de todos os pilares da obra. Deve ser utilizado quando a área total de base for maior que a metade da área construída. No caso de utilização de *radier*, o objetivo é evitar que ocorram recalques diferenciais (SOUZA, 2013).

### 3.1.2 Fundações profundas

De acordo com a NBR 6122/2019, as fundações profundas transmitem a carga para o solo por meio da base (resistência da ponta), lateral (resistência do eixo) ou uma combinação das duas, com profundidade maior que o dobro. A menos que haja instruções razoáveis, o tamanho mínimo das fundações profundas deve ser de pelo menos três metros (VELLOSO; LOPES, 2011). As fundações profundas podem ser de alguns tipos, dentre eles:

- Estaca de concreto pré-moldado: com este método, a estaca está pronta para construção;
- Estaca de metal: pode-se ser usada em qualquer tipo de solo. Normalmente utilizada para a construção de fundações de grande porte e obras de contenção;
- Estaca escavada: recomendada para terrenos secos espera-se atingir maior profundidade. Desta forma, o solo é perfurado até a profundidade necessária através de um tubo de metal e preenchido com concreto. Há vários tipos de estacas escavadas, variando de acordo com as suas dimensões, empregos e métodos construtivos, como a hélice contínua, a cravada em rocha, entre outras;
- Tubulão: Pode ser feito ao ar livre ou sob ar comprimido (pneumaticamente) (VELLOSO; LOPES, 2011).

### 3.2 Aspectos gerais sobre fundações de concreto

As fundações são uma das partes mais importantes de uma obra, pois precisa absorver todo o peso próprio da estrutura, cargas de utilização e cargas acidentais da edificação. Neste sentido, as fundações devem ser construídas com concreto de adequada qualidade (ZARZAR; SANTIAGO; FERREIRA e OLIVEIRA, 2010).

A mistura que forma o concreto torna-se uma rocha artificial visto que o concreto adquire a forma de um conglomerado composto por agregados de diversos tamanhos, envoltos por uma pasta de cimento. Esta pasta é heterogênea, formada por partículas, filmes, microcristais e elementos sólidos, ligados por uma massa porosa que contém vazios (poros) e espaços com soluções. Assim, o excesso de vazios tende a enfraquecer o

concreto. Em casos em que ocorre a formação de cristais de grandes dimensões no concreto, conseqüentemente, evidencia-se a maior porosidade no elemento, indicando um ponto de fragilidade do material. Assim, o agregado tem influência não apenas na resistência, mas também na durabilidade e no desempenho estrutural do concreto (YUAN; DANGLA; CHATELLIER e CHAUSSADENT, 2013).

Para Bernal Castillo et al. (2015), as fundações podem ser executadas em concreto armado. O concreto trata-se de um material estrutural que é formado basicamente por agregado graúdo, agregado miúdo e cimento que tem a função de aglomerante ou aglutinante, que endurece pela perda de água. A quantidade de agregados na composição do material corresponde a 75% do volume total do concreto. Todavia, este percentual pode variar, uma vez que existem vários tipos de cimento, cada qual para determinado uso (Tabela 1).

Tabela 1 – Tipos de cimento

Sigla	Tipo	Variações
CP I	CP comum	CPI
	CP comum com adição	CP I – S
CP II	CP composto com escória	CP II – E
	CP composto com pozolana	CP II – Z
	CP composto com filer	CP II – F
CP III	CP de Alto – forno	CP III
CP IV	CP pozolânico	CP IV
CP V	CP de alta resistência inicial	CP V - ARI

Fonte: Adaptado de Bernal Castillo et al (2015).

A NBR 6118 estabelece requisitos mínimos de qualidade que as estruturas de concreto devem atender, sendo eles: capacidade resistente; desempenho em serviço e durabilidade. Segundo as diretrizes da norma, as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil (ABNT, 2014).

A durabilidade é um parâmetro que relaciona as características de deterioração do concreto, individualizando cada construção pelas respostas aos efeitos da agressividade ambiental e definindo, assim, a vida útil da estrutura. A vida útil da peça de concreto também irá depender da qualidade de seus componentes (YUAN; DANGLA; CHATELLIER e CHAUSSADENT, 2013).

Considera-se que a durabilidade é uma das exigências menos atendidas. Porém, esta só pode ser bem avaliada em conjunto com outras exigências, tais como, segurança estrutural e bom desempenho em serviço (BONATO et al, 2014).

A durabilidade não é simplesmente uma característica dos materiais, mas um resultado da interação de um material ou componente com o meio ambiente. Esta interação provoca alterações nas propriedades iniciais, resultando na degradação. A durabilidade pode ser expressa em termos de vida útil, definida como o período de tempo durante o qual um produto atende às exigências de projeto. Um adequado desempenho do material ou componente ao longo da vida útil é considerado como sinônimo de durabilidade (BONATO et al, 2014).

Comumente, considera-se a vida útil exigida ou esperada de um elemento estrutural como aquela que deve ser igual à da construção. Desta forma, devem ser especificados

parâmetros de vida útil para os quais o desempenho fique igual ou acima do mínimo aceitável estabelecido. Na abordagem das normas de projeto, as exigências relativas à durabilidade das estruturas de concreto são cada vez mais rígidas. O texto da NBR 6118 é claro quando estabelece que as estruturas de concreto devam ser projetadas cuidando-se da sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço, nas condições ambientais a que é prevista, durante sua vida útil. Nesse período, desde que sejam atendidos requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e construtor, a estrutura deve manter suas características (PADILLA; BIELEFELDT; OVTCHINNIKOV; HERNANDEZ; SILVERSTEIN, 2010).

Além da qualidade do concreto, o cobrimento dado às armaduras é fundamental para a durabilidade das estruturas. Parâmetros mínimos são estabelecidos na norma, na qual a classe do ambiente determina o cobrimento nominal das armaduras. Devem ser também considerados o envelhecimento e a deterioração das estruturas de concreto. A norma também define outros critérios de projeto a serem adotados, visando garantir a durabilidade das estruturas. Podem ser destacadas, além das mencionadas, questões de drenagem, detalhamento das armaduras, controle de fissuração, inspeção e manutenção preventiva. É importante perceber que para garantir as exigências estabelecidas, é preciso compromisso de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização das fundações, garantindo a sua durabilidade (PADILLA; BIELEFELDT; OVTCHINNIKOV; HERNANDEZ; SILVERSTEIN, 2010).

Segundo, Brunetaud, Khelifa e Al-Mukhtar (2012), a agressividade do ambiente pode ser avaliada segundo as condições de exposição da estrutura. Classificando o ambiente e sua agressividade, é possível determinar o risco de deterioração da estrutura. As características do concreto utilizado são importantes para a durabilidade das fundações, sua qualidade está ligada diretamente com a relação água-cimento, através da porosidade e conseqüente suscetibilidade à penetração de água e de gases no concreto. Com base nessa forte relação, a NBR 6118 apresenta formas para escolher a resistência do concreto em função do ambiente classificado (Tabela 2).

Tabela 2 – Agressividade do ambiente

Exposição	Concentração de sulfatos solúveis em SO <sub>4</sub> – No Solo (%)	Concentração de sulfatos solúveis em SO <sub>4</sub> – Na água (%)
Leve	<0,1	<150
Moderada	0,1 a 0,2	150 a 1500
Severa	0,2 a 2,0	1500 a 10000
Muito Severa	>2,0	>10000

Fonte: Adaptado de Brunetaud, Khelifa e Al-Mukhtar (2012).

Outro ponto importante que causa o enfraquecimento do concreto armado é a corrosão da armadura, devido ao meio que o concreto está exposto, em ambientes úmidos essa umidade atravessa pelos poros do concreto até chegar às ferragens, oxidando-a. Também é de extrema importância ressaltar que na umidade que atravessa os poros, pode conter íons sulfatos, que deterioram o concreto (MEDEIROS, 2010).

As manifestações patológicas têm como fator preponderante as falhas que ocorrem durante a realização de uma ou mais atividades referentes ao processo da construção civil: concepção, execução e utilização. As causas das manifestações patológicas podem ser: sobrecargas, impactos, abrasão, movimentação térmica, concentração de armaduras, retração hidráulica e térmica, alta relação água/cimento, exposição a ambientes

agressivos, ação da água, excesso de vibração, falhas de concretagem e falta de proteção superficial (MEDEIROS, 2010).

### **3.3 Patologias em concreto**

A agilidade nas obras tem se tornado fator de grande importância em todo o processo de execução, gerir o tempo, garantir a fluidez do trabalho e o alto desempenho das equipes são fundamentais. Todavia, a intensa busca pela eficácia e a falta de tempo para a adequada execução do concreto armado têm ocasionado a perda da qualidade nas obras, colocando em risco o desempenho eficaz do empreendimento e originando patologias (LIMA, 2017).

No Brasil as incidências patológicas no concreto armado têm se tornado comum, já que o país tem vivido uma fase de construções em grandes escalas. Essa situação é provocada pela falta de percepção dos profissionais da construção civil que, realizam suas atividades sem nem mesmo refletir sobre porque estão executando, depara-se com a despreocupação na aplicação das adequadas técnicas construtivas, refletindo no surgimento de sérios problemas. Por outro lado, essa realidade se repete em outros países do mundo, inclusive em locais famosos por suas tecnologias construtivas (BOTELHO e MARCHETTI, 2015).

Neste contexto, para a detecção das patologias e realização dos reparos é necessário que sejam identificados os defeitos existentes e investigadas as possíveis causas. Para tanto, é fundamental a realização de vistorias no local para inspeção da gravidade patológica, verificando quais elementos foram afetados e qual o comprometimento de cada um deles. Sendo que, caso sejam necessários ensaios laboratoriais para análise mais precisa, esses devem ser realizados para que sejam evitados futuros problemas (CAVA, 2016).

O concreto armado, assim como outros elementos estruturais, pode se degradar. Esse desgaste pode ser maximizado pelo uso incoerente de material, execução inadequada, erros de projeto, falta de manutenção ou emprego de materiais de baixa qualidade (LIMA, 2017). Uma patologia que afeta o concreto armado é a lixiviação que dissolve os compostos do cimento. A carbonatação também pode afetar estruturas de concreto armado, este é um fenômeno causado por uma reação química entre dióxido de carbono na atmosfera ou hidróxido de cálcio que penetra nos poros do concreto (IMPACTO, 2017).

As medidas preventivas consistem em dificultar a ação dos agentes agressivos, executando cobrimento das armaduras adequadas, adotando concreto de baixa porosidade e realizando as manutenções adequadas. Um exemplo seria o controle das fissuras, uma vez que elas representam porta de entrada para a umidade, gerando novos defeitos (IMPACTO, 2017).

As estruturas de concreto armado estão submetidas a movimentos repetitivos que causam fadiga no material. Além dos esforços de utilização, existe também a contração por fluência que são deformações que ocorrem no concreto, levando a uma redução no seu volume, o que pode causar tensão adicional na estrutura. Entre as patologias, o concreto pode apresentar fissuras devido às sollicitações e retrações provocadas, principalmente, pela baixa resistência à tração do concreto. Embora indesejável, o fenômeno da fissuração é natural (dentro de certas restrições), por isso, é importante controlar as fissuras para garantir a funcionalidade, estética, desempenho, durabilidade e impermeabilidade do elemento estrutural (LIMA, 2017).

As fissuras são os primeiros sinais de fraqueza estrutural e indicam que o desempenho da estrutura está limitado. Mas elas podem se tornarem mais intensas, transformando-se em rachaduras e afetando os elementos estruturais. As estruturas em concreto armado devem

ser projetadas e construídas para manter sua vida útil, segurança, estabilidade e adequação ao uso quando usadas de acordo com as condições ambientais fornecidas pelo projeto (IMPACTO, 2017).

Outra patologia que ganha destaque quando se fala em concreto armado são as desagregações dos concretos. Nestes casos, formam-se vazios na parte interna do material que provocam o desprendimento entre o concreto e o cabo, fazendo com que a aderência seja minorada. A desagregação faz com que o cabo ou a armadura de aço fiquem expostos. São causas da desagregação: concreto em temperaturas ambientes extremas; baixa vibração do concreto; baixa qualidade do concreto; penetração de água e contaminação dos agregados (SIMÕES, 2012).

Também podem ocorrer defeitos em estruturas de concreto armado associadas aos agentes biológicos. Os agentes biológicos são microorganismos encontrados no material, bem como raízes de vegetação e briófitas. A principal patologia biológica encontrada em estruturas de concreto armado é a biodeterioração do concreto, provocada pelos agentes supracitados. A biodeterioração é a mudança nas propriedades do material, devido à ação de microorganismos. O concreto é um material bioreceptivo, devido às condições de rugosidade, porosidade, umidade e composição química, as quais podem ser combinadas com as condições ambientais, como temperatura, umidade e luminosidade, agentes provedores da biodeterioração do concreto (BAUSCHER, 2018).

De acordo com a NBR 6118, a durabilidade da estrutura é altamente dependente das propriedades do concreto. Nesse sentido, deve-se realizar inspeção periódicas nas estruturas de concreto para que seja verificada a segurança, capacidade de carga e as expectativas de durabilidade durante o uso. No que diz respeito à durabilidade em face das atividades ambientais, é necessário garantir que haja proteção física e química suficiente para a vida útil restante esperada (IMPACTO, 2017).

Os motivos para a realização de inspeções em estruturas de concreto podem variar bastante, devem ser considerados no planejamento do trabalho de inspeção e requerem um processo ou metodologia ordenada. Essa metodologia está dividida em três etapas: pré-diagnóstico, pesquisa e diagnóstico final (IMPACTO, 2017).

Em caso de inspeções nas estruturas de concreto armado, deve-se coletar todas as informações possíveis, dentre elas, acessar o projeto original, verificar o histórico de carga, condições ambientais, aspectos de uso, entre outros. Posteriormente, elabora-se um catálogo de danos, incluindo possíveis riscos ocultos; testes, dados de medições, variáveis que podem afetar a estrutura. Por fim, deve-se realizar análises sobre o comportamento dos elementos e justificar a causa (BAUSCHER, 2018).

Com base nas inspeções, é possível perceber as prováveis causas das manifestações patológicas. Antes da realização de qualquer intervenção estrutural, o pré-diagnóstico é baseado no conhecimento da estrutura, sua preservação, a condição que está sendo verificada e a causa. Dependendo da condição e do grau dos danos, são consideradas ações de reparação. Todavia, medidas de precaução devem ser tomadas para proteger os componentes estruturais para prevenir ou reduzir a progressão da condição (BAUSCHER, 2018).

Se a degradação tiver um efeito significativo sobre o elemento estrutural, é necessário propor um reparo da área afetada e restaurar seu estado inicial. A complexidade e o significado desse tipo de desempenho dependem da natureza do elemento, sua localização e o estado de degradação. Os reparos aplicados em áreas degradadas são complexos e requerem diagnósticos precisos para determinar o escopo do trabalho (BONILHA e

CHOLFE, 2015). Se erros de projeto forem diagnosticados ou se novas tensões excederem as inicialmente previstas para o elemento estrutural, é necessário incorporar novos componentes estruturais por meio de sistemas de reforço apropriados (BONILHA e CHOLFE, 2015). A inspeção de estruturas de concreto armado tem como objetivo verificar a segurança em termos de carga e durabilidade (AZEVEDO, 2011).

Medidas de emergência são ações que precisam, já as medidas de precaução são intervenções projetadas para proteger componentes estruturais e impedir ou reduzir o progresso do envelhecimento, ou para proteger contra incêndio, corrosão, desgaste da superfície etc. A complexidade e importância desse tipo de desempenho dependem da natureza do elemento, sua localização e o estado de degradação (AZEVEDO, 2011).

Em geral, as soluções possíveis para um determinado problema estrutural são diversas e existem várias opções igualmente eficazes e viáveis. Dada a falta de regulamentos específicos sobre as atividades reais de reabilitação, as decisões devem ser tomadas com base na coleta detalhada de dados e em resultados analíticos representativos. A detecção precoce do risco de uma ruptura frágil não é fácil, mas, apesar das dificuldades, um diagnóstico e solução devem ser tomados (AZEVEDO, 2011).

Fatores técnicos são critérios fundamentais a serem considerados ao tomar uma decisão. Nesse sentido, a solução deve garantir a resposta correta às limitações e requisitos estruturais condicionados pela estrutura e seus componentes. A vida útil é garantida de acordo com as necessidades do uso pretendido. Para tanto, deve-se verificar as especificações técnicas apropriadas (CAVA, 2016).

Ao se analisar os fatores econômicos, deve-se buscar alternativas tecnicamente corretas com os custos econômicos favoráveis para a tomada de decisões. Vale ressaltar que os custos a considerar são sempre os custos de toda a operação, incluindo os materiais e mão de obra. Além disso, os parâmetros de lucro, durabilidade e custos de manutenção precisam ser analisados ao longo de sua vida útil (IMPACTO, 2017).

Os fatores operacionais estão relacionados às restrições que podem existir no sentido operacional. Destaca-se a acessibilidade aos elementos que intervêm em relação às operações anteriores e à assistência necessária, além de quaisquer operações adicionais requeridas durante a fase de execução. Em relação aos fatores arquitetônicos, algumas soluções para intervenção em estruturas de concreto resultam em alterações na forma, volume, textura da superfície e outros. Embora essas mudanças possam não ser significativas, alterações nas características arquitetônicas da estrutura também podem tornar impraticáveis soluções técnicas, econômicas e funcionais (IMPACTO, 2017).

### **3.4 Cimento *Portland* RS e ataque de sulfatos**

Existem cinco tipos de cimento que são considerados resistentes a sulfatos. Todavia, existem algumas condições, devendo apresentar teor de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente. Além disso, os cimentos do tipo alto forno devem possuir entre 60% e 70% de escória granulada de alto forno em massa. Por outro lado, cimentos do tipo pozolânico devem apresentar entre 25% e 40% de material pozolânico em massa. Por fim, cimentos que foram testados a partir de ensaios de longa duração, ou que comprovem resistência aos sulfatos (ZARZAR JÚNIOR e OLIVEIRA, 2016).

A formação de gipsita, etringita ou taumasita, associadas com as reações por troca de cátions, são acrescidas de distintos mecanismos. Dessa maneira, na formação de gipsita, também ocorre perda de adesão e de resistência, lascamento e expansão, afetando a resistência à tração dos concretos. Destaca-se também que a formação de etringita,

frequentemente, está associada à expansão e fissuração dos elementos. Enquanto que a formação de taumasita pode transformar o concreto endurecido em uma massa não coesa, devido à dissolução do C-S-H principal composto responsável pela resistência do concreto (ZARZAR JÚNIOR e OLIVEIRA, 2016).

Hoppe Filho (2015) retrata que a hidratação do silicato de tricálcio ( $C_3S$ ) e silicato de dicálcio ( $C_2S$ ) originam silicatos de cálcio hidratados que possuem composição química variada e são representados genericamente por C-S-H, trata-se de compostos que preenchem o espaço ocupado previamente pela água e pelas partículas de cimento em dissolução.

Os sulfatos no solo não influenciam de maneira negativa o concreto de fundação caso o ambiente permaneça seco, uma vez que a água é necessária para dissolver os sulfatos e levar seus ânions para o concreto por difusão. Todavia, não é necessário volume significativo de fluido, o solo não precisa estar saturado, caso esteja apenas úmido, já é o suficiente para se iniciar o processo de degradação da estrutura. Em alguns casos, se o teor de água no solo estiver entre 12% e 14%, o processo pode ser desencadeado. Trata-se de uma reação em cadeia cujo resultado é a formação de gesso e etringita, significativamente mais volumosos do que os reagentes iniciais (1,2 a 2,2 vezes) o que provoca expansão e, por conseguinte, fissuras e deterioração (HOPPE FILHO, 2015).

Além da água do mar, os sulfatos estão presentes em águas de rio, lençóis freáticos, água de pântano e decomposição de matéria orgânica, incluindo locais poluídos com esgoto, ambientes industriais e nos próprios agregados constituintes do concreto (BARROS, 2019).

As manifestações patológicas em estruturas de concreto devido ao ataque por sulfatos têm sido verificadas em diversas partes do mundo. Na maioria dos casos, os sulfatos são externos ao concreto, não sendo incomum encontrar concentrações deletérias destes em ambientes urbanos e industriais, como exemplo indústrias de produtos químicos e estações de tratamento de esgoto (YUAN; DANGLA; CHATELLIER e CHAUSSADENT, 2013).

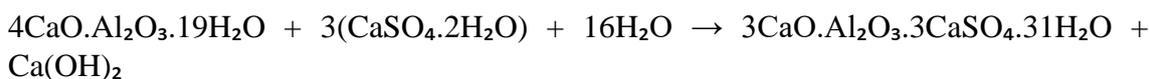
O que se refere os sulfatos de origem interna, Brunetaud, Khelifa e Al-Mukhtar (2012) apresentaram relatos de concentrações significativas de sulfatos presentes em agregados utilizados em concretos, o que torna a reação ainda mais perigosa, uma vez que o agente agressivo já se encontra dentro da estrutura. Cada forma de mecanismo de ataque de sulfato a ser discutida é abordada como um processo físico-químico levando a consequências físico-mecânicas. Tais consequências incluem alterações na porosidade e permeabilidade, estabilidade volumétrica, resistência à compressão e à tração, alteração no comportamento à elasticidade, variações na dureza, entre outros. Todas estas mudanças implicam perda de durabilidade e minoração da vida útil.

O concreto atacado por sulfatos, frequentemente, apresenta aparência esbranquiçada. A deterioração geralmente começa nos cantos e arestas seguida de uma fissuração progressiva e lascamento que reduzem o concreto a um aspecto frágil e pouco rígido. O ataque por sulfato pode se manifestar em forma de fissuração e expansão, podendo causar graves problemas estruturais principalmente em fundações. Em casos nos quais não se pode evitar o contato entre fundações e fluidos contendo sulfato, é imprescindível considerar a agressividade do ambiente no dimensionamento das peças. Nestes casos, deve-se priorizar a qualidade dos materiais e o controle no processo de execução, permitindo o dimensionamento com peças cujas espessuras mostram-se adequadas à agressividade ambiente, emprego de baixa relação água/cimento, alto consumo de cimento, compactação e cura apropriadas, fatores que tornem a permeabilidade do

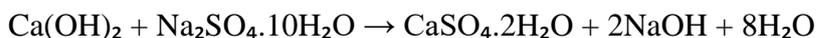
concreto o mais baixa possível, aliando-se o uso de cimentos *Portland* resistentes a sulfatos ou compostos e uso de películas impermeabilizantes. O tipo de cimento e o controle da permeabilidade são essenciais para se evitar o ataque por sulfato (BARROS, 2019).

Os íons sulfatos podem ser provenientes de lençóis freáticos, no próprio solo há uma presença natural desses íons de sulfato, uma vez que o S é um micronutriente do solo, porém em solos compostos por gipso (minério de gipsita –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) há uma presença elevada de íons sulfato, uma vez que esse minério associado as água da chuva formam esses íons. Há a presença desses íons em águas de pântano (decomposição da matéria orgânica), esgotos, efluentes industriais e chuvas ácidas também aumentam a presença desses íons nos solos (HOPPE FILHO, 2014). Os tipos de sulfatos mais comuns são: sulfato de sódio, sulfato de potássio, sulfato de magnésio e sulfato de cálcio.

Inclusive, Zarzar, Santiago, Ferreira e Oliveira (2010) defendem que o ataque por sulfatos causa a formação de gesso, de etringita e de taumasita. Enquanto as primeiras dependem de uma fonte de alumina, a formação da taumasita necessita de uma fonte de sílica e carbonato. A estrutura de ambas é similar, mas no geral os ataques por íons sulfatos incidem sobre o aluminato tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , designação simplificada  $\text{C}_3\text{A}$ ) do cimento hidratado formando o gesso e a etringita. Porém cada íon sulfato tem um mecanismo de ataque que se difere do outro. O sulfato de cálcio reage apenas com o aluminato de cálcio hidratado para formar o sulfoaluminato de cálcio, como descrito na Eq. (1).



Zarzar, Santiago, Ferreira e Oliveira (2010) mostra que o sulfato de sódio reage com o hidróxido de cálcio livre, formando o sulfato de cálcio, que por sua vez reage com o aluminato, demonstrado na Eq. (2).



Para Zarzar, Santiago, Ferreira e Oliveira (2010) o sulfato de magnésio é o que causa mais danos ao concreto atacado, pois decompõe os silicatos de cálcio hidratados e reage com os aluminatos e hidróxido de cálcio, de acordo com a Eq. (3).



Os ataques por sulfatos com a formação da taumasita se diferem dos ataques comuns, pois são os silicatos cálcicos hidratados (C-S-H, designação comum) que são atacados ao invés dos aluminatos cálcicos hidratados. E estes compostos são os principais agentes ligantes do cimento *Portland*, incluindo o cimento resistente aos sulfatos. A substituição dos C-S-H pela taumasita acarreta a redução das propriedades ligantes do concreto endurecido e causa a perda de resistência e transformação numa massa pastosa e sem coesão alguma (BERNAL CASTILLO et al, 2015).

Logo, é possível notar a gravidade dos danos causados pelos ataques dos sulfatos ao concreto, por isso deve-se dar atenção especial para as fundações executadas em concreto armado ou simples, que são peças inseridas em solos que podem vir a conter teores elevados de íons sulfatos. Destaca-se que os sulfatos de sódio, cálcio e magnésio são os mais prejudiciais ao concreto. Inclusive, a maioria dos solos apresenta pequenas quantidades de sulfatos, na forma de gipsita, mas em quantidades pequenas, são consideradas inofensivas ao concreto. Contudo, em águas subterrâneas é frequente encontrar sulfatos de magnésio, sódio e potássio; efluentes utilizam combustíveis com

alto teor de enxofre; efluentes industriais que contêm ácido sulfúrico; decomposição de material orgânico em pântanos, lagos rasos, poços de mineração; tubulações de esgoto que formam  $H_2S$  que será transformado em  $H_2SO_4$  pelas bactérias; águas marítimas são fontes potenciais de sulfatos; a chuva ácida também causa a contaminação do solo com sulfatos. Todos esses ambientes citados são considerados agressivos ao concreto, pois contém teores altos de íons sulfatos (BERNAL CASTILLO et al, 2015).

No geral, todos os sulfatos causam reações expansivas no concreto, que irá acarretar no lascamento (descamação) do mesmo e isso irá reduzir sua resistência. O sulfato de magnésio é o que causa a reação mais prejudicial, logo é o mais perigoso, mas isso não reduz a atenção que se deve dar aos outros sulfatos. A descamação do concreto irá fazer com que o mesmo perca sua principal propriedade que é a resistência à compressão, ou seja, o mesmo será enfraquecido. Em uma fundação é preciso que se tenha um adequado concreto, pois a mesma irá suportar todo o peso da superestrutura da obra, deste modo, caso o concreto da fundação seja atacado por sulfatos, infere-se que a mesma será comprometida e com o decorrer do tempo perderá, cada vez mais, sua resistência, o que poderá causar o colapso da estrutura (YUAN; DANGLA; CHATELLIER e CHAUSSADENT, 2013).

Neste sentido, podem-se adotar algumas técnicas para se neutralizar esses ataques. Uma delas é empregar cimentos com baixo teor de aluminato tricálcico; adotar o cimento CP III – RS que é resistente a sulfatos; empregar o cimento pozolânico com teor acima de 30% e o cimento com adição de escória acima de 65% que são os tipos de cimentos indicados para as fundações que serão inseridas em ambientes em que haja a presença de sulfatos. Todavia, destaca-se que o uso de cimentos resistentes ao ataque por sulfatos não garante que o concreto não sofrerá danos com a ação dos sulfatos, mas terá um acréscimo em sua resistência e diminuirá os impactos provocados pela agressividade do ambiente. Isso ocorre porque nos cimentos resistentes a sulfatos, a quantidade de silicatos hidratados de cálcio, que é vulnerável ao ataque, é mais elevada que nos outros tipos de cimento *Portland* (BONATO et al, 2014).

Portanto, assim como relatam Padilla, Bielefeldt, Ovtchinnikov, Hernandez e Silverstein (2010), os silicatos hidratados de cálcio em baixas temperaturas e elevada umidade, reagem com os sulfatos provenientes do exterior e com os carbonatos, formando a taumasita. A impermeabilização do concreto também é um ponto chave no combate aos ataques de sulfatos. Isso porque a água é o veículo que transporta os sulfatos para dentro do concreto. Ou seja, deve-se utilizar um concreto o mais impermeável possível, para isso há aditivos impermeabilizantes específicos.

#### 4. Conclusão

Percebe-se que, nos últimos anos, pouco se tem escrito sobre o ataque de sulfatos em fundações, uma vez que foram detectadas na busca sistemática dos últimos 10 anos, apenas 05 artigos sobre a temática. Nota-se que a melhor defesa contra o ataque nocivo dos sulfatos é a efetividade do controle de qualidade, mantendo-se a baixa permeabilidade do concreto. Entre os fatores que contribuem para reduzir a permeabilidade do concreto estão o dimensionamento adequado das fundações, baixa relação água-cimento na composição do material e cura adequada.

Nesse estudo fica claro que a presença de sulfatos no meio externo, apresenta alterações ao concreto constituinte das fundações, contudo essas alterações são mais expressivas em longo do tempo, uma vez virá a acarretar o enfraquecimento da fundação, logo poderá acarretar em um colapso de toda a estrutura, como já ocorrido no Brasil.

Portanto, o ataque por sulfato mostra-se agressivo para estruturas de concreto, afetando suas características e desempenho, minorando, principalmente, a resistência do elemento de fundação. Por isso, na fase de concepção de projeto, deve-se realizar investigação no solo e no ambiente para se determinar o nível de contaminação à qual a estrutura ficará exposta, pois para o ataque por sulfato, a forma de combate é a prevenção. Assim, a adequada execução do concreto proporcionará maior durabilidade à fundação, uma vez que os danos causados pelos ataques serão reduzidos, deste modo, à vida útil da peça será prolongada.

### Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT NBR 6118:2014 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.* Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *NBR 14037: Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação.* Rio de Janeiro, 1998.
- AZEVEDO, M. T.** *Patologia das estruturas de concreto.* In: ISAIA, G. C. *Concreto: ciência e tecnologia.* São Paulo: IBRACON, 2011.
- BARROS, S. V. A.** et al. *Mechanical behavior and durability of mortars with quartzite and Portland cement after sulfate attack.* *Matéria (Rio J.),* Rio de Janeiro, v. 24, n. 4, e12530, 2019. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762019000400348&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000400348&lang=pt)>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.
- BAUSCHER.** *Equipamentos para Protensão.* Bauscher – Machineries & Equipments, Curitiba, 2018. Disponível em < <http://www.bauscher.com.br/equipamentos-protensao.html>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.
- BONILHA, L.; CHOLFE, L.** *Concreto Armado: Teoria e Prática.* 2. ed. São Paulo: PINI, 2015.
- BOTELHO, M.; MARCHETTI, O.** *Concreto Armado Eu Te Amo.* 1. ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- BERNAL CASTILLO, F. et al.** *Détermination of the probability and rate of corrosion on reinforced concrete specimens through a remote corrosion monitoring system.* *Tecciencia, Bogotá,* v. 10, n. 19, p. 27-31, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-36672015000200006&lang=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-36672015000200006&lang=pt)>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.
- BONATO, M. M. et al.** *Argamassas fotocatalíticas e concretos com adição de fibras de coco e sisal para a redução de impactos ambientais de gases poluentes.* *Cerâmica,* São Paulo, v. 60, n. 356, p. 537-545, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132014000400012&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132014000400012&lang=pt)>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.
- BRUNETAUD, X.; KHELIFA, M. R.; AL-MUKHTAR, M.** *Size effect of concrete samples on the kinetics of external sulfate attack.* *Cement and Concrete Composites.* vol. 34, pp. 370–376, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946511001557>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.
- CAVA, F.** *Concreto Armado – Flexão Simples e Domínios.* Além da Inércia. 2016. Disponível em <<https://alemdainercia.wordpress.com/2016/09/22/concreto-armado-flexao-simples-e-os-dominios/>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.
- HOPPE FILHO, J. et al.** *Ataque de matrizes cimentícias por sulfato de sódio: adições minerais como agentes mitigadores.* *Cerâmica,* São Paulo, v. 61, n. 358, p. 168-177, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132015000200168&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000200168&lang=pt)>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.
- HOPPE FILHO, J. et al.** *Degradação do concreto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por ácido sulfúrico biogênico.* *Rev. ALCONPAT,* Mérida, v. 4, n. 2, p. 87-99, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-68352014000200087&lang=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352014000200087&lang=pt)>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.
- IMPACTO.** *Protensão não aderente.* São Paulo, 2017. Disponível em:

<<http://impactoprotensao.com.br/servicos/protensao/protensao-nao-aderente/>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.

**LIMA, A.** *Querido Monstrinho RM: Tensões de Flexão e Cisalhamento*. Engenheiro Caiçara, 2017. Disponível em <<http://engenheirocaicara.com/querido-monstrinho-rm-tensoes-de-flexao-e-cisalhamento/>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.

**MEDEIROS, H.** *Doenças concretas*. Revista técnica, São Paulo, n. 160, p. 62-68, 2010. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/372327140/Doencas-concretas-Techne>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.

**MILITITSKY, J.; CONSOLI, C.; SCHNAID, F.** *Patologia das fundações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

**PADILLA, G. D. G.; BIELEFELDT, A.; OVTCHINNIKOV, S.; HERNANDEZ, M.; SILVERSTEIN, J.** *Biogenic sulfuric acid attack on different types of commercially produced concrete sewer pipes*. Cement and Concrete Research. vol. 40, pp. 293–301, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884609002853>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.

**SIMÕES, R.** *PROJETO PR05-2012-01 – Estrutura em Concreto Armado*. Porto Seguro, Itatiba, 2012.

**SANTOS, G. V. dos.** *Patologias devido ao recalque diferencial em fundações*. 2014. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Fatecs, Brasília, 2014.

**SOUZA, F. B. de.** *Qualidade na Execução de Obras*. UNAR – Revista Científica do Centro Universitário de Araras “Dr. Edmundo Ulson”, [s.l.], v. 7, n.2, 2013.

**VELLOSO, D. A.; LOPES, D. R.** *Fundações*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. I, 2011.

**YUAN, H.; DANGLA, P.; CHATELLIER, P.; CHAUSSADENT, T.** *Degradation modelling of concrete submitted to sulfuric acid attack*. Cement and Concrete Research. vol. 53, pp. 267–277, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884613001749>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.

**ZARZAR JÚNIOR, F. C.; OLIVEIRA, R. A. De.** *Behavior of Concrete in Relation to Physical and Chemical Sulfate Attacks in Foundation Elements*. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2016 (21.21). pp 6809-6826. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2016/Ppr2016.0683ma.pdf>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.

**ZARZAR, F. C. J; SANTIAGO, J. W. C. M; FERREIRA, S. R.M; OLIVEIRA, R. A.** *Patologias de Fundações de Edifícios Causadas por Ações Ambientais*. VI Congresso Internacional Sobre Patología y Recuperación de Estructuras. Córdoba – ARG, 2010. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/12168780-Patologias-de-fundacoes-de-edificios-causadas-por-acoes-ambientais.html>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2021.