

## DEGRADAÇÃO DE AÇO CARBONO SUBMETIDO À AÇÃO DE SULFATOS E O USO DE MATERIAIS NATURAIS PARA PROTEÇÃO.

Aluizio Alves dos Santos Filho<sup>1</sup>  
Geovane Matheus da Silva Farias<sup>2</sup>  
Hugo Mozer Barros Eustáquio<sup>3</sup>  
José Tamires Filgueira da Silva<sup>4</sup>

**RESUMO:** Nos dias atuais, o aço é um dos principais materiais usados na área da construção civil. E, na prática, constata-se que inúmeras obras, com ênfase nas expostas em ambientes agressivos, apresentam degradação precoce. Um dos principais agentes de degradação presente no ambiente é o íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), que é fruto, principalmente, do processo biológico de transformação da matéria orgânica pelas bactérias. Em especial para o aço, o sulfato pode acelerar a principal forma de degradação que é a corrosão. O presente trabalho refere-se à exposição do aço carbono ao ambiente agressivo com a presença de sulfato a uma concentração de 14,2g/L considerada como sendo de agressividade moderada pela NBR 12655/2006. Foram expostas barras para ensaios de tração e peças cilíndricas com 2 centímetros de espessura. Como forma protetora, foi testado o uso de uma resina à base de cera de abelha, um material natural com grande disponibilidade no nordeste brasileiro. Nessas condições foram avaliadas propriedades de resistência à tração, pH e condutividade da solução de ataque e perda de massa do metal. A resistência mecânica não foi influenciada mediante ao tempo utilizado (21 dias) para máxima exposição. Constatou-se um aumento da condutividade e uma redução do pH consequência de uma leve perda de massa, indicando efeitos degradativos. A proteção com cera de abelha provocou a manutenção nas propriedades das peças, evitando a perda de massa para a solução, fato comprovado também pelos valores inalterados dos pH e condutividades da solução de ataque.

**Palavras-chave:** Corrosão. Íon Sulfato. Aço CA\_50.

**ABSTRACT:** In today's diamonds steel is one of the main materials used in the construction industry. In practice, it is verified that he works, with justification in the expositions in aggressive environments, presentation of early degradation. The main indicator of degradation is the sulfate environment ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) which is the process mainly of biological processing of organic matter by bacteria. In particular for steel, sulfate can accelerate the main form of degradation that is corrosion. The present work refers to the exposure of carbon steel to the aggressive environment with the presence of sulfate of a concentration of 14.2 g / L as being aggressive moderated by NBR 12655/2006. Cylindrical pieces with 2 centimeters of thickness and bars for tensile tests were exposed. The protective form was tested and the use of resin of

<sup>1</sup> Estudante de Graduação em Engenharia Civil do UNIFACEX. E-mail: pedro11alves@gmail.com.

<sup>2</sup> Estudante de Graduação em Engenharia Civil do UNIFACEX. E-mail: geovane-007matheus@hotmail.com.

<sup>3</sup> Engenheiro de Materiais (UFRN) com graduação também em Tecnologia em Controle Ambiental (IFRN) e Mestrado em Engenharia Sanitária (UFRN). Atualmente é Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais-UFRN (Conceito 6 - CAPES). Sua pesquisa esta concentrada na área de desenvolvimento de materiais cerâmicos e materiais adsorventes. Atua como professor no UNIFACEX, nas disciplinas de Materiais de Construção e Saneamento ambiental, nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura. E-mail: hugoeustaquio@unifacex.edu.br.

<sup>4</sup> Estudante de Graduação em Engenharia Civil do UNIFACEX. E-mail: josetamires@gmail.com.

Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 01 de Maio de 2018; aprovado em 27 de Agosto de 2018.

beeswax a material with great availability in the Brazilian northeast. The conditions were evaluated for tensile strength, pH and conductivity of the attack solution and loss of mass of the metal. The mechanics were not influenced by the time used (21 days) for maximum exposure. An increase in conductivity and a reduction in the pH of a slight loss of mass, classifying degradation, were observed. The protection with the ablation function led to a maintenance in the properties of the parts, avoiding the loss of mass for the solution, with the advent of unchanged levels of pH and conductivity of the attack solution.

**Keywords:** Corrosion. Ion Sulphate. CA\_50 steel.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o concreto e o aço são os principais materiais usados na área de construção civil. E, dessa forma, cada vez mais engenheiros e técnicos da área têm buscado formas de estender a vida útil das estruturas desenvolvidas com esses materiais.

Na prática, constata-se que inúmeras obras de infraestrutura, com ênfase às expostas em ambientes altamente agressivos, apresentam degradação precoce, remetendo a falhas de especificação prévia que garantam adequada funcionalidade e durabilidade (HOPPE FILHO, 2015). Isto caracteriza que o conceito de durabilidade está associado à principalmente a interação com o ambiente onde está a estrutura.

Nas estações de tratamento de esgoto não acontece diferente, encontram-se diversos tipos de manifestações patológicas em todas as etapas de construção. Um dos principais agentes agressivos presente no meio é o íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), que é fruto, principalmente, do processo biológico de degradação da matéria orgânica pelas bactérias.

No concreto os efeitos deletérios relacionados a esse tipo de ataque químico são normalmente a expansão, a qual provoca fissuras consideráveis, e a redução progressiva de resistência e rigidez do concreto, além de aspectos estéticos como a eflorescência. (MARCELINO, 2015).

Vários são os fatores que afetam o processo de corrosão, entre eles, a temperatura, a umidade, os compostos presentes no meio e os microrganismos, sejam estes, bactérias, fungos e/ou vírus (SILVA, 2008). O íon sulfato configura-se dessa forma um dos principais agentes da corrosão. E em ambientes com esgotos em processos de degradação, às concentrações elevadas do íon aumenta ainda mais a agressividade de ataques corrosivos.

Dentro deste contexto, buscou-se desenvolver o presente trabalho com o objetivo de avaliar os efeitos degradativos dos sulfatos nas estruturas de aço. Tal como propor uma medida alternativa para proteger o mesmo através do uso da cera de abelha.

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Os sulfatos são originados a partir do ácido sulfúrico que reage com uma base formando-o em uma reação de neutralização, em sua formação atômica tem-se um átomo central de enxofre ligado por quatro de oxigênio, de forma compartilhada, em uma ligação covalente, tendo por fórmula molecular  $\text{SO}_4^{2-}$ . De forma genérica podemos tratar os sulfatos como sais ou composto orgânico derivado do ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), porém devido sua instabilidade aniônica é comum a interação com alguns metais alcalinos terrosos, entre eles os mais comuns berílio, magnésio, cálcio e estrôncio (J. HOPPE FILHO et al., 2015).

Geralmente os sulfatos são encontrados na natureza na forma de minerais, alguns utilizados na construção civil em larga escala, como por exemplo: sulfato de bário (brita), sulfato de cálcio (gipsita), havendo algum menos comum para esse setor, mas que pode estar presente de forma indireta em pequenas concentrações, sulfato de estrôncio (celestita), sulfato de chumbo (anglesita), sulfato duplo de cálcio e sódio:  $\text{CaNa}_2(\text{SO}_4)_2$  (glauberita), etc. (SILVA, MATOS E SILVA, 2008).

Uma outra forma de encontramos os íons de sulfato advém com a poluição. Com a globalização e o alto fluxo industrial, temos um alto grau de efluentes com sulfatos provenientes, dos diversos ramos industriais, isso se deve a dificuldade de redução de concentrações na própria fonte geradora, sendo encaminhado a estações de tratamento de esgoto, com concentrações acima do limite máximo.

Há um esforço de limitar a presença dessa substancia no meio ambiente, mas ainda com eficiência limitada a ambientes regionais. No Estado de São Paulo por exemplo, a Lei estadual nº 997 regulamentada pelo Decreto nº 8.468 de 08/09/76 em seu Artigo 19-A define que a concentração máxima do íon sulfato que uma empresa pode descarregar nos coletores públicos de esgotos é de 1.000 mg/L. (SENA, 2002).

As diferentes formas da presença do sulfato encontrada no meio ambiente dão embasamento da sua comum propagação, desempenhando um papel importante, principalmente para o setor da construção civil, devido à agressividade, que pode ocasionar efeitos deletérios ou inócuos as estruturas. A grande maioria de obras civis, de pequeno e grande porte são construídas de concreto, simples ou armado. Segundo RHEINHEIMER; KHOE, (2013), “a estrutura de concreto pode estar submetida ao ataque por sulfatos, que constitui um conjunto complexo de processos químicos e físicos causados por reações dos vários componentes do cimento com o sulfato, que pode ter origem interna ou externa.”.

O aço é uma liga de ferro-carbono com outros elementos adicionais (silício, manganês, fósforo, enxofre etc.), resultante da eliminação total ou parcial de elementos inconvenientes que se fazem presentes no produto obtido na primeira redução do minério de ferro, o teor de carbono nessa liga varia de 0 a 1,7% (PINHEIRO E BAUER, 2010). Por possuir diversas propriedades, a corrosão (ou oxidação) é uma propriedade que afeta os metais e que pode, de acordo com Bauer (2008), se dar pela exposição de sua superfície a compostos não aderentes, solúveis ou dispensáveis no ambiente que o metal se encontra, mas que possuem poder de oxidar a superfície metálica. O efeito da corrosão é um ponto negativo que os metais são suscetíveis, e que podem prejudicar a estrutura ou não, dependendo da intensidade, sendo assim grande parte das estruturas os aços são protegidos de alguma forma para amenizar os efeitos dos ataques. Basicamente existem duas formas de proteger o aço, através do adicionamento de uma barreira física ou de uma barreira química sob a superfície do aço que agem impedindo que os elementos patogênicos entrem em contato com o aço. Em pesquisas realizadas constataram que os íons sulfato afetam marcadamente a corrosão do aço, incrementando a formação de produtos insolúveis sobre a sua superfície.

### **3 METODOLOGIA**

A realização do experimento consistiu na utilização de amostras de aço carbono destinadas a concretos armados (CA-50). Dois tipos de testes foram realizados, o objetivo é submeter corpos de prova (CPs) à solução de sulfato a uma concentração 14,2 g/L, considerada como sendo agressividade moderada pela NBR 12655/2006, e avaliar o seu comportamento em duas idades distintas (14 e 21 dias de exposição ao meio agressivo). A concentração adotada teve como base o trabalho de SILVA e PONTES FILHO (2008).

#### **3.1 PREPARAÇÃO DAS BARRAS DE AÇO**

Nessa etapa, foi avaliada a resistência mecânica de aços submetidos a um ambiente com sulfatos. Para isso, foi preparado um conjunto de amostras, sendo 3 (três) para cada idade. Além disso, para a identificação correta dos eventos também um grupo de três amostras foram verificadas sem exposição alguma, os resultados desse grupo foram nomeados como controle.

Em um primeiro momento, foi realizado o corte de barras com bitola de 10 mm para um comprimento nominal de 25 cm e dobramento, em um ângulo de 90°, configuração necessária para o ensaio mecânico de resistência à tração, a figura 1 exemplifica os corpos de

provas. Antes da submissão ao ambiente agressivo foi realizado um lixamento superficial para retirar o excesso de oxidação, e pesagem para registro da massa inicial.

**Figura 1** – Barras de aço que foram submersas na solução de sulfatos cortadas e dobradas.



**Fonte:** Autoria própria, 2018

Após a preparação das amostras, os materiais foram pesados e submersos na solução, sendo separadas em recipientes de acordo com as idades de avaliação. Após o contato com a solução e antes do rompimento, as barras foram lavadas com água destilada e álcool, em seguida houve a pesagem a fim de avaliar a perda de massa das amostras.

Para a realização da leitura do ensaio de tração foi utilizado uma máquina de modelo MS1000 da marca VDAS que possui um sistema de travamento das barras com sete parafusos que garantem a estabilidade da amostra durante o ensaio. O software utilizado para a realização da leitura da força de rompimento foi o VDAS desenvolvido pelo próprio fabricante. Vale ressaltar que nesse estudo foi levado em consideração a tensão de rompimento do material. A seguir a figura 2 demonstra o equipamento usado no dobramento.

**Figura 2** – Prensa utilizada no processo de dobramento



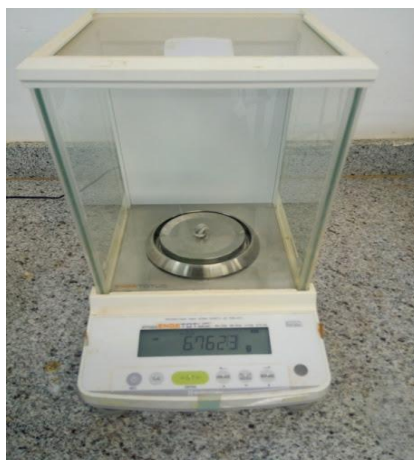
**Fonte:** Autoria própria, 2018.

### 3.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA AVALIAÇÃO QUÍMICA.

Foi realizado o corte dos corpos de prova das mesmas barras com aproximadamente 2 cm de comprimento a fim de avaliar o comportamento químico do material quando submetidos a mesma concentração de sulfato de sódio citado anteriormente. Neste caso foram preparados 7 (sete) CPs, sendo três para cada idade (14 e 21 dias) e 1 para servir de controle. Optou-se por utilizar 6 CPs a fim de realizar uma média semanal para cada 3 corpos de prova no intuito de avaliar o comportamento dos parâmetros de PH, condutividade da solução de sulfato e perda de massa do material.

A preparação dos Cps consistiu no polimento da seção transversal passando pelas lixas 40, 80, 120 e 240 respectivamente. Vale ressaltar que durante o lixamento foi realizado mudanças de direção de 90° em todas a lixas para garantir um melhor polimento. Após a exposição ao sulfato os CPs foram lavados com água destilado e álcool, pesados e levados. A figura 3 demonstra a balança usada na identificação dos eventos de perda de massa. E a figura 4 demonstra juntos as barras e CPs para ensaios químicos.

**Figura 3** – Pesagem do CP na balança de precisão.



**Fonte:** Aatoria própria, 2018

**Figura 4** – Barras de aço e CPs de controle.



**Fonte:** Aatoria própria, 2018

### 3.3 PREPARAÇÃO DA CERA DE ABELHA

Logo depois da submissão dos CPs ao sulfato, foram preparadas mais amostras para serem submetidas ao mesmo procedimento, contudo, estas foram recobertas com uma camada de cera de abelha no intuito de comparar os efeitos com a proteção.

Primeiramente realizou-se a extração da cera de abelha pura a partir da cera bruta da abelha Italiana Africanizada, obtida de um apiário localizado no município de Caiçara do

Norte no sítio Pedra da Palmeira. A técnica consistiu em colocar a cera em um recipiente de alumínio e aquecê-la a uma temperatura superior a 100°C com o uso de um fogão industrial até que uma camada líquida amarelada se forma na parte superior do recipiente.

Imediatamente, o material, ainda aquecido, foi peneirado com o objetivo de separar as partículas sólidas, enquanto que a parte líquida foi adicionada em outro reservatório para esfriar. Durante o processo de resfriamento a cera refinada começa a se solidificar separando-se do restante a matéria orgânica que se encontra em estado líquido.

Para o recobrimento dos CPs de aço, a cera obtida após a completa separação foi aquecida novamente até que ficasse em seu estado líquido, aproximadamente 100 °C, e em seguida as peças metálicas foram submersas. Ao entrar em contato os CPs que estão a uma temperatura ambiente, a cera solidificou-se imediatamente aderindo ao aço formando uma camada protetora.

Por fim, os CPs revestidos com uma camada de cera foram pesados, para obter a massa inicial, submetidos a mesma solução de sulfatos nas idades de 14 e 21 dias e os parâmetros de perda de massa, condutividade e PH da solução foram avaliados de modo idêntico às peças sem proteção

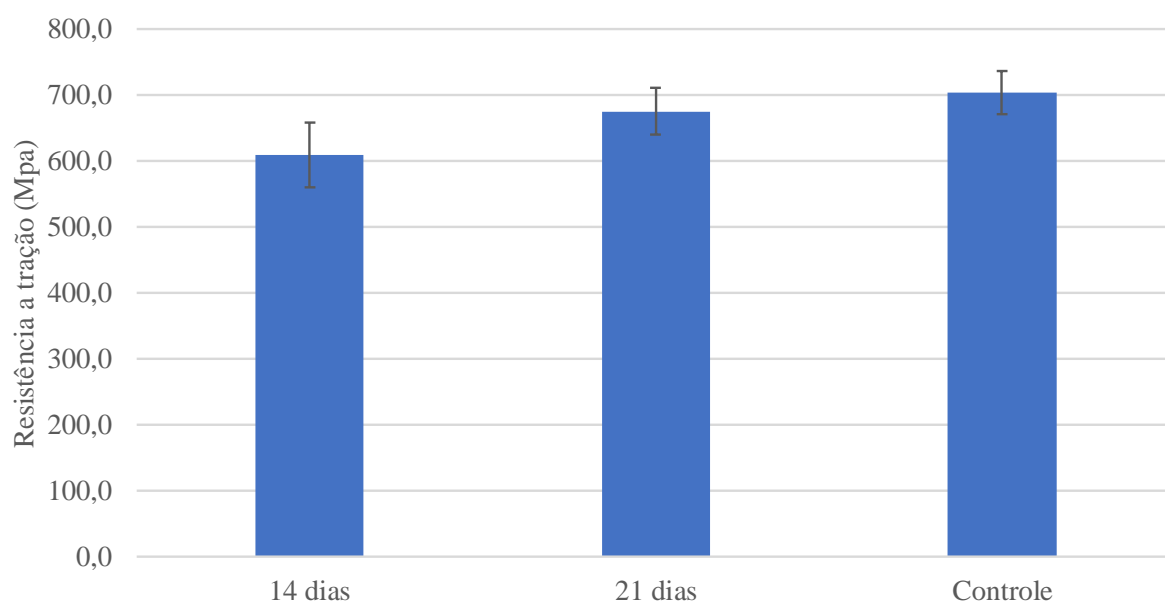


## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

**Figura 5** – Tensão de rompimento a tração das barras de CA – 50.

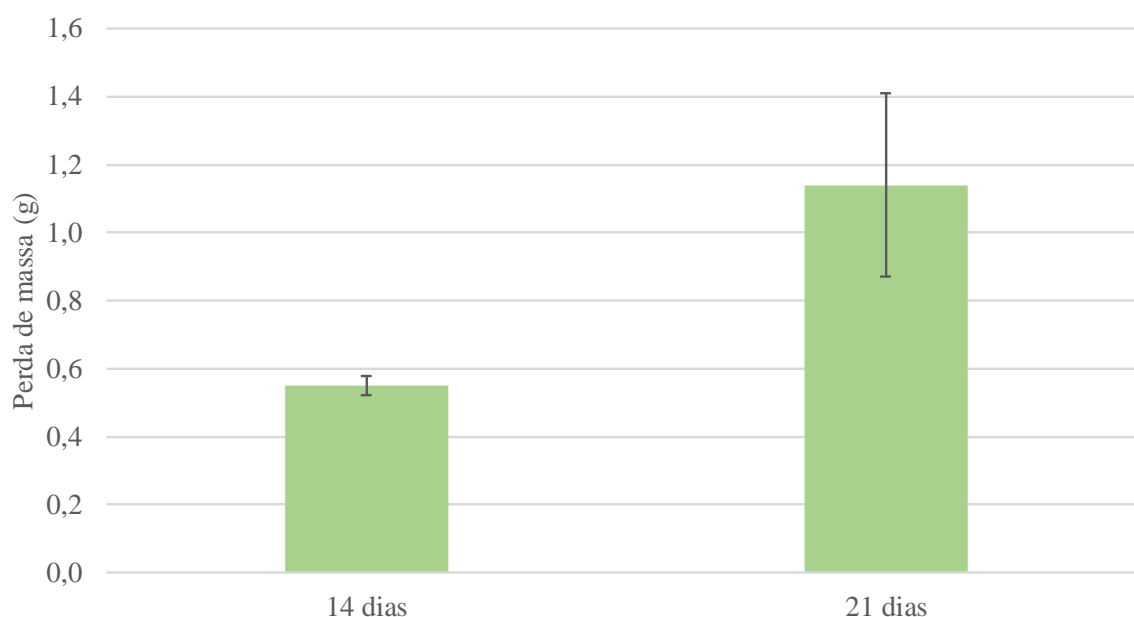
A seguir, na figura 5, é possível observar os valores obtidos no ensaio de tração das barras de aços.



**Fonte:** Autoria própria, 2018

Para uma melhor análise, é importante avaliar a perda de massa das amostras. Podemos verificar esse quantitativo na figura 6 abaixo.

**Figura 6** – Comportamento da perda de massa das barras de aço.



**Fonte:** Autoria própria, 2018

Ao analisar os resultados percebe-se que, apesar de existir uma perda de massa significativa no decorrer do tempo de exposição, em um período de 21 dias não são geradas diferenças significativas na resistência mecânica do aço, já que, os valores de tensão, em ambos, permaneceram iguais, variando-se apenas, do valor médio aproximado de 650 Megapascal, dentro de margem de erro de cada conjunto de amostra (desvio-padrão). Este mesmo comportamento pode ser observado nos trabalhos de Silva e Pontes Filho (2008).

Contudo, apesar de não haver diminuição da resistência mecânica do aço, deve-se levar em consideração o seu uso. Quando o material for usado para reforço do concreto, a expansão do aço apresentada quando inicia o processo de oxidação pode gerar tensões de dentro para fora no concreto (tração) comprometendo a estrutura.

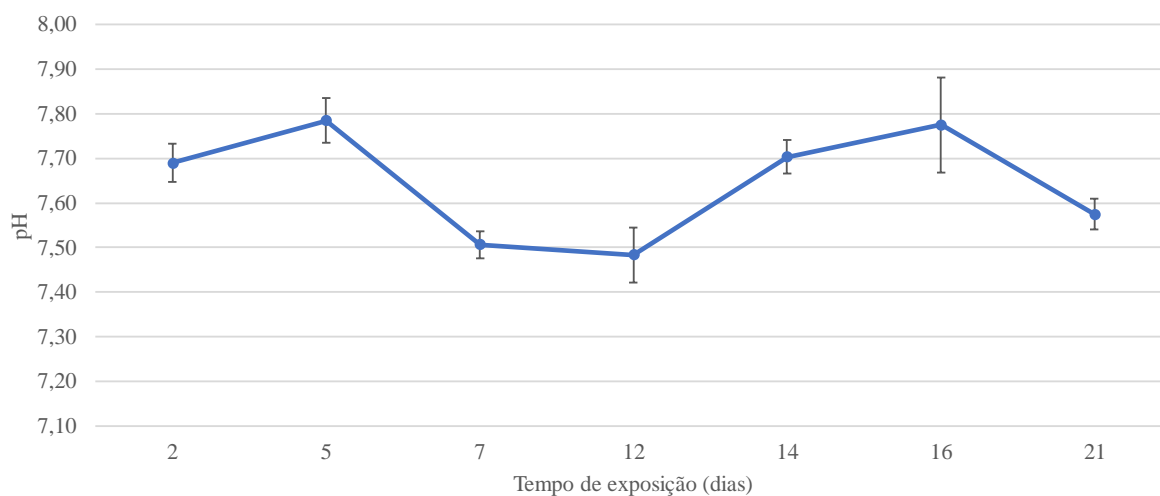
#### 4.2 VALORES DE PH, CONDUTIVIDADE E PERDA DE MASSA

As medições de pH e condutividade da solução usada para atacar as barras de aço tiveram como intuito permitir o acompanhamento da velocidade no processo corrosivo através da variação dos valores que são decorrentes do ataque do sulfato no meio.

Valores de pH inicial foi de 8,56 caracterizando que a solução se encontra alcalina. O valor da condutividade depende da quantidade, na solução de ataque a condutividade teve valores significantes (13,47 mS/seg) em virtude do sulfato promover a formações de íons no meio.

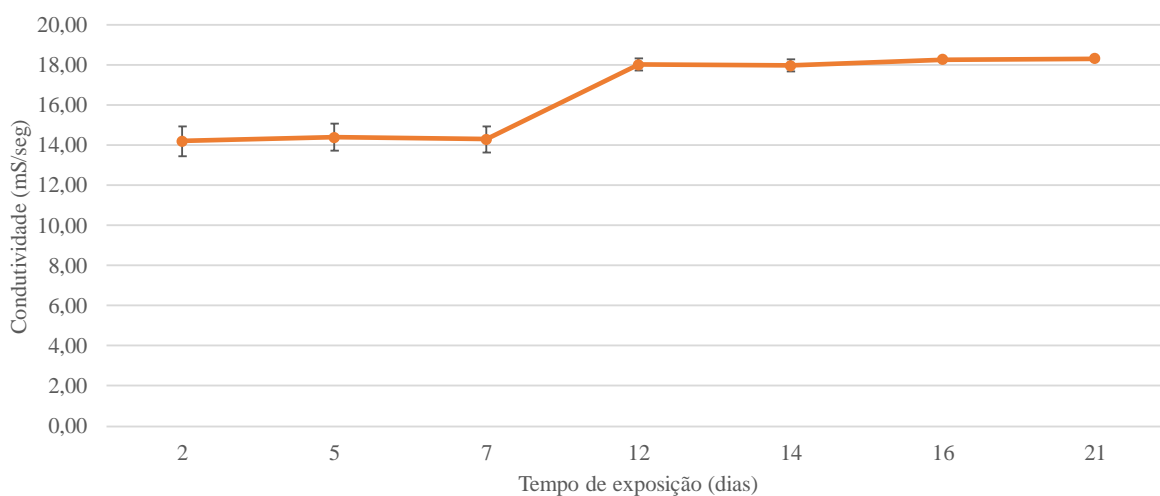
Nas figuras 7 e 8 a seguir pode-se observar os valores médios de variação de pH, condutividade.

**Figura 7** – Comportamento do pH na solução durante a avaliação dos ensaios de ataque



**Fonte:** Autoria própria, 2018

**Figura 8** – Comportamento da condutividade na solução durante a avaliação dos ensaios de ataque químico.



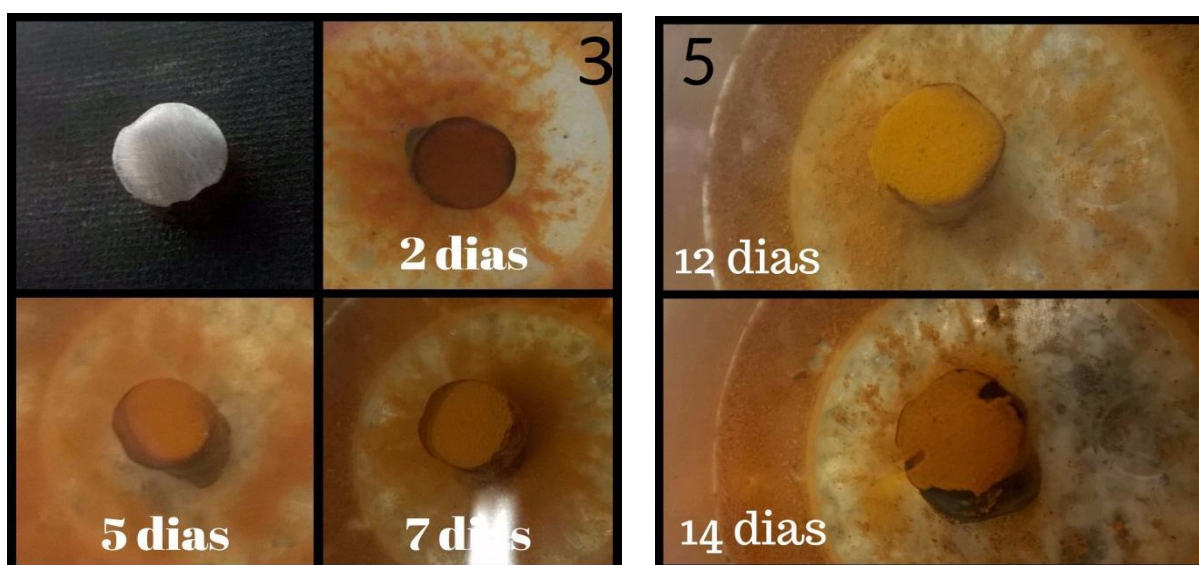
**Fonte:** Autoria própria, 2018

A partir do segundo dia, a solução apresentou uma queda significativa no valor de pH quando comparado com a leitura inicial, embora diante de algumas variações o valor manteve-se praticamente constante (considerando os desvios padrões) até o 16 dia finalizando com um valor ainda menor do que a primeira queda.

Ao observarmos o aumento da condutividade, podemos entender porque houve decréscimo no pH. Devido ao ataque corrosivo do sulfato, íons de ferro foram liberados pelas amostras e ficaram concentradas na solução, explicando assim o aumento da condutividade, essa condição físico-química no meio ocasionou uma perda na sua alcalinidade. A condutividade final teve seu valor aproximado a 18 mS/seg, esse obtido depois de alguns dias medição constante o que indica uma saturação de íons no meio.

A alteração das características da solução de ataque indica que houve a degradação do metal. Esse fato foi comprovado pela análise visual dos corpos de prova (Figura 9) e os resultados de perda de massa (figura 10). Na avaliação da perda de massa, percebe-se um fenômeno importante; no decorrer do avanço do tempo de exposição a ação do sulfato, houve um decaimento do valor de perda de massa, esse fato está associado a deposição do produto da corrosão, o sulfato ferroso, sobre a peça metálica. A figura 10 comprova que em 21 dias a presença desse fenômeno provoca um suposto ganho de massa, em aplicações onde esse metal reforça um concreto, tal comportamento é a origem das fissuras e rompimentos da matriz cimentícia.

**Figura 9** – Registro visual do comportamento da solução de ataque e corpo de prova metálico mediante a evolução temporal de sumissão.



Fonte: Autoria própria, 2018.

**Figura 10** – Comportamento da variação da massa durante ataque químico.

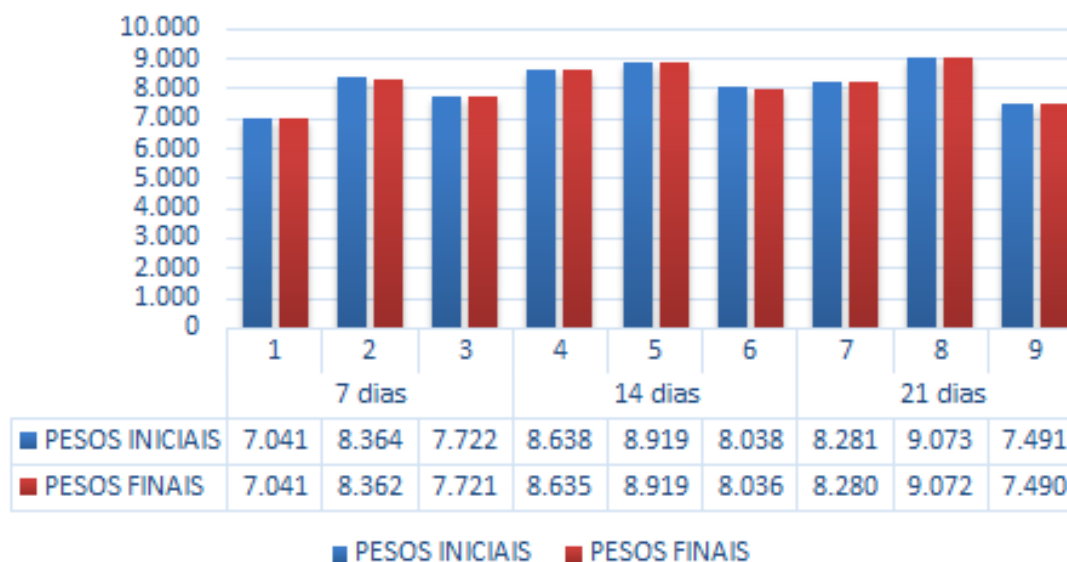


**Fonte:** Autoria própria, 2018.

#### 4.3 VALORES DE PH, CONDUTIVIDADE E PERDA DE MASSA DOS CPS RECOBERTOS COM CERA DE ABELHA

Para tal, foram coletados resultados nas idades de 7, 14 e 21 dias, durante todos os dias de análise foi percebido que não houveram alterações significativas nos valores de PH e condutividade, o que difere do primeiro método onde o aço encontrava-se sem a proteção. Foi percebido também que ao decorrer das coletas não houve o depósito dos Íons de ferro das amostras na solução como foi visível anteriormente, explicando assim o motivo de a condutividade e o PH se manterem constantes. Como consequência, a massa dos CPs se manteve praticamente constante como podemos observar na figura 11 a seguir.

**Figura 11** – Comportamento da variação de massa dos corpos de prova protegidos com cera de abelha.



**Fonte:** Autoria própria, 2018.

## 5 CONCLUSÃO

Através do experimento realizado, podemos constatar um aumento da condutividade e uma redução do pH, essas alterações ocorridas com a idade de 14 dias levaram a amostra a uma leve perda de massa, dessa forma, apontando possíveis efeitos deletérios. Percebeu-se também que, quando comparado com os CPs sem proteção, a cera de abelha protegeu o aço contra os íons do sulfato, tendo um ótimo resultado em curto prazo.

## REFERÊNCIAS

- BAUER, L.a.falcao. **Materiais de construção 2**. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.
- BRASIL. Instituto do Aço. **Processo Siderurgico**. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br>>. Acesso em: 09 out. 2017.
- J. HOPPE FILHO, D. J. SOUZA, M. H. F. MEDEIROS, E. PEREIRA, K. F. PORTELLA. **Ataque de matrizes cimentícias por sulfato de sódio: adições minerais como agentes mitigadores**. Cerâmica 61 (2015) p. 168-177.
- MARCELINO, A. P. B. **Estudos para o Desenvolvimento de uma Metodologia de Definição de Teores Deletérios de Enxofre em Concretos e Argamassas de Barragens**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia de estruturas, UFMG, 2015.
- MATOS, D. M. L. **Contaminações Sulfáticas em Corpos Hidricos de uma área gesseira em uma região do semi-árido pernambucano**. 2012. 45 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- PINHEIRO, G. L.. **Influência do íonsulfato na corrosão do aço-carbono**. In: \_\_\_\_\_ CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 48. 2008, Rio de Janeiro. Química na proteção ao meio ambiente e a saúde. Rio de Janeiro: Iniciação Científica, 2008.
- PINHEIRO, L. M.; Santos, A. P.; Muzardo, C. D. **Estruturas de concreto**. São Paulo: Usp – Eesc – Departamento de Engenharia de Estruturas, 2010.
- RHEINHEIMER, B.; KHOE, S. S. **Ataque por sulfatos em estações de tratamento de efluentes**. 2013. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- SENA, H. C. de. **Influência de altas concentrações de sulfato na remoção carbonácea, nitrificação e digestão anaeróbia em estações de tratamento de esgoto**. In: \_\_\_\_\_ CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, 2002, Cancun.
- SILVA, A. L. S. da. **Sulfatos de metais alcalinos terrosos**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com>>. Acesso em: 15 set. 2017.
- SILVA, R.C.B. da ; Pontes Filho, T.R. Corrosão do aço carbono em meio sulfato na presença da bactéria Salmonella anatum. **Revista Matéria**, v. 13, n. 2, p. 282 – 293, 2008.