



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EVANDRO EDUARDO BARBOSA MENDONÇA

CORROSÃO ACELERADA POR IMERSÃO MODIFICADA (ENSAIO CAIM)
SOBRE AÇÃO DE MEIO SALINO E ÁGUA CINZA EM BARRAS DE AÇO USADAS
EM CONCRETO ARMADO

CRATEÚS

2023

EVANDRO EDUARDO BARBOSA MENDONÇA

CORROSÃO ACELERADA POR IMERSÃO MODIFICADA (ENSAIO CAIM) SOBRE
AÇÃO DE MEIO SALINO E ÁGUA CINZA EM BARRAS DE AÇO USADAS EM
CONCRETO ARMADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação de Engenharia Civil na
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Janaina Lopes Leitinho

CRATEÚS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M494c Mendonça, Evandro Eduardo Barbosa.

Corrosão Acelerada por Imersão Modificada (ensaio CAIM) sobre ação de meio salino e água cinza em barras de aço usadas em concreto armado / Evandro Eduardo Barbosa Mendonça. – 2023.
49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Janaina Lopes Leitinho.

Coorientação: Profa. Dra. Luisa Gardenia Alves Tomé Farias.

1. corrosão acelerada. 2. água cinza. 3. eletrólito salino. I. Título.

CDD 620

EVANDRO EDUARDO BARBOSA MENDONÇA

CORROSÃO ACELERADA POR IMERSÃO MODIFICADA (ENSAIO CAIM) SOBRE
AÇÃO DE MEIO SALINO E ÁGUA CINZA EM BARRAS DE AÇO USADAS EM
CONCRETO ARMADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação de Engenharia Civil na
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovada em: 18/12/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. **Janaina Lopes Leitinho** (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Mr. **Jorge Luis Santos Ferreira**
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. **Solange Assunção Quintella**
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

À minha mãe e minha avó, Lucila Cristina

Rodrigues Barbosa e Maria Rodrigues Barbosa

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Joana D'arc e Clésio Rodrigues, presente de Deus em minha vida. Abriram as portas de sua casa e me acolheram como filho, o que me fortaleceu e possibilitou permanecer em Crateús para cursar Engenharia Civil. Da acolhida da Joana e Clésio ganhei dois irmãos de coração, Maria Fernanda e Pedro Lucas que foram um ombro amigo para os dias de saudade da família.

Aos meus irmãos Eduarda Cristina, Carlos Eduardo e José Arthur, aos meus tios Luciano Teófilo e Lucélia Teófilo pelo carinho e incentivos para continuar o curso.

Aos meus amigos Vitor Alves Furtado Neri, Vildemar da Costa e Wellington Madureiro dos Santos fizeram minha jornada da UFC um pouco mais leve.

Ao Prof. Dr^a Janaina Lopes Leitinho pela paciência, amizade e orientação durante a minha vida acadêmica.

Aos professores participantes da banca examinadora Solange Assunção Quintella e Jorge Luis Santos Ferreira pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas do Núcleo Integrado de Pesquisa e Inovação (NIPI) da UFC Crateús, em especial aos amigos Ariane Carvalho da Silva e João Victor Rodrigues pela ajuda no desenvolvimento do projeto e companheirismo.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”
(Madre Tereza de Calcutá)

RESUMO

A água limpa e potável é essencial para a manutenção da vida e por este motivo o uso adequado deste bem é indispensável para a sua preservação. Na construção civil a água potável é utilizada para realizar a maior parte das atividades. No sertão nordestino do Brasil o uso da água na construção civil contrasta com a ausência de água e as necessidades básicas do sertanejo. Pensando em mitigar este contraste, este trabalho pretende avaliar os efeitos da corrosão provocada pela água cinza (AC) em barras de aço-carbono através do ensaio CAIM com objetivo de verificar os mecanismos de corrosão direta na armadura do concreto. A água cinza, água de reuso, contém sais que podem influenciar na corrosão de metais e o controle de seus constituintes pode ser fundamental para a viabilidade do uso no concreto. O estudo da corrosão acelerada pelo ensaio CAIM em barras de aço foi realizado por imersão em água salina e água cinza. As barras foram emergidas por um período de 8 horas sobre tensão de 15 Volts. O estudo dos mecanismos da corrosão, sobre a barra, foram acompanhados pela evolução da corrente com o tempo, taxa de corrosão e microscopia óptica. Os resultados mostraram que a AC de baixo teor orgânico derivada de máquina de lavar roupa, é um eletrólito menos agressivo que a água salina, certamente, pela menor disponibilidade de cloretos e oxigênio no meio. Assim, a depender da composição, o uso deste tipo de água pode ser uma opção para o emprego em estruturas concretadas, no entanto, a de se considerar, também, a interação da AC com outros constituintes do amassamento como cimento e agregados, os quais podem formar micropilhas, demandando de estudo mais aprofundado sobre os mecanismos de controle do processo corrosivo.

Palavras-chave: corrosão acelerada; água cinza; eletrólito salino.

ABSTRACT

Clean, potable water is essential for the maintenance of life and for this reason the proper use of this resource is essential for its preservation. In civil construction, drinking water is used to carry out most activities. In the northeastern hinterland of Brazil, the use of water in civil construction contrasts with the absence of water and the basic needs of the country people. Thinking about mitigating this contrast, this work aims to evaluate the effects of corrosion caused by gray water (GW) on carbon steel bars through the ACMI test with the aim of verifying the mechanisms of direct corrosion in concrete reinforcement. Gray water, reused water, contains salts that can influence the corrosion of metals and the control of its constituents can be fundamental for the viability of its use in concrete. The study of accelerated corrosion by the ACMI test on steel bars was carried out by immersion in saline water and gray water. The bars were emerged for a period of 8 hours under a voltage of 15 Volts. The study of corrosion mechanisms on the bar was followed by the evolution of the current over time, corrosion rate and optical microscopy. The results show that the GW with low organic content derived from the washing machine, under study, is a less aggressive electrolyte than saline water, certainly due to the lower divisibility of chlorides and oxygen in the medium. Thus, depending on the composition, the use of this type of water may be an option for use in concrete structures, however, the interaction of GW with other mixing constituents such as cement and aggregates must also be considered, which they can form micropiles, requiring further study of the control mechanisms of the corrosive process.

Keywords: accelerated corrosion, gray water, saline electrolyte

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Agravamento da seca em diversos Estados (Outubro/2023).....	21
Figura 2 - Fontes de água cinza e sua classificação quanto a carga poluente.....	22
Figura 3 - Composição da água cinza de acordo com o uso.....	23
Figura 4 - Diagrama ensaio CAIM com CP submerso.....	28
Figura 5 - Posição do fio sobre a barra.....	30
Figura 6 - Detalhamento da metodologia para o posicionamento do fio na barra. a) Corte do fio; b) Fio desencapado com os apoios; c) Fio amarrado na barra.....	31
Figura 7 - Ensaio CAIM. a) desenho esquemático da conexão das barras com a fonte; b) Imagem real do experimento.....	32
Figura 8 - Barras de imersas na solução de limpeza.....	33
Figura 9 - Barras em estufa.....	33
Figura 10 - Fluxograma.....	34
Figura 11 - Barra de aço-carbono imersa em água salina. a) Removida do banho após 8h; b) Seca após 12 h a temperatura ambiente; c) Após lavagem e massa contínua.....	37
Figura 12 - Barra de aço-carbono imersa em água cinza. a) Removida do banho após 8h; b) Seca após 12 h à temperatura ambiente; c) Após lavagem e massa contínua.....	38
Figura 13 - Barra de aço imersa em solução salina.....	39
Figura 14 - Barra de aço imersa em solução de água cinza.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química da água cinza.....	28
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento da corrente em função do tempo sobre as barras de aço. a) Imersa em Solução Salina; b) Imersa em água cinza.....	34
Gráfico 2 - Perda de massa para as amostras após ensaio CAIM.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Contextualização.....	15
1.2	Justificativa.....	16
1.3	OBJETIVOS.....	18
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>18</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>18</i>
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	A escassez de água e reutilização consciente.....	19
2.2	Água cinza.....	21
2.3	Reuso da água na construção civil.....	22
2.4	Corrosão.....	23
2.5	Ensaio de corrosão acelerada.....	26
3	METODOLOGIA.....	28
3.1	Materiais.....	28
<i>3.1.1</i>	<i>Água cinza.....</i>	<i>28</i>
<i>3.1.2</i>	<i>Barras de aço.....</i>	<i>28</i>
<i>3.1.3</i>	<i>Conectores.....</i>	<i>29</i>
<i>3.1.4</i>	<i>Eletrólitos.....</i>	<i>30</i>
<i>3.1.5</i>	<i>Cuba de vidro.....</i>	<i>30</i>
<i>3.1.6</i>	<i>Fonte de tensão.....</i>	<i>30</i>
3.2	Ensaio CAIM.....	31
3.3	Resumo das etapas metodológicas.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1	Análise do comportamento da corrente versus tempo.....	34
4.3	Análise da perda de massa.....	35
4.4	Análise da taxa de corrosão.....	35
4.5	Análise superficial das barras de aço após corrosão induzida.....	36
4.6	Análise microscópica das barras de aço após corrosão induzida.....	37

5	CONCLUSÃO.....	40
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A água é um dos principais constituintes do concreto. Na mistura é utilizada para hidratação do cimento garantindo a trabalhabilidade ao concreto (NIKHIL *et al.*, 2014). Anualmente, a indústria de concreto chega a consumir mais de um bilhão de metros cúbicos de água potável no amassamento (SHEKARCHI *et al.*, 2012).

Em 2021, Giri relata que o fornecimento de água proporcional à produção de alimentos para a população é um dos maiores desafios para o século XXI. Confirmando a ideia dada pela ECO-92, em que a água é o petróleo do século XXI (TRAD, 2011).

Essa afirmativa reflete as inconstâncias dos dias atuais para o mundo, em especial, para o Sertão Nordestino brasileiro onde a água é algo raro, tornando-se uma “arma” político-estratégica de extrema importância no desenvolvimento da região. O sertanejo precisa de água para sobreviver e aprende, desde cedo, a adaptar-se às condições severas de seca extraíndo de seus recursos hídricos o máximo de benefícios, sem pensar no amanhã. Nas cidades interioranas o uso da água para a construção civil parece conviver lado a lado com a ausência de água nas torneiras e as necessidades básicas da população, sendo algo afrontoso ao desenvolvimento e à sustentabilidade. Todos parecem saber da importância dos recursos hídricos limitados no sertão, mas abstém-se da responsabilidade de cuidar e preservar suas águas.

Dada a importância da utilização da água, na construção civil é de suma relevância propor alternativas para o reuso da água na produção do concreto. A água cinza (AC) é caracterizada por ser uma água residual proveniente de lavadoras de roupa, banheiras, chuveiros e pias (AL-JAYYOUSI, 2003; DHIMAN, 2022). O uso desta água no concreto tem suas restrições apoiadas pela NBR 15900 que relata os limites de constituintes como sulfetos, sulfatos, cloretos, alcalinidade entre outros. A composição desta água reflete na permeabilidade do concreto e conseqüentemente na corrosão da estrutura metálica da armadura.

O processo de corrosão no aço-carbono pode acontecer superficialmente ou, de forma mais severa, entre as microestruturas. A escolha do aço-carbono para o concreto se dá pela boa resistência à corrosão feita pela presença de carbonos na composição. Entender os mecanismos de degradação que atuam em um ambiente multi agressor é fundamental para propor soluções de proteção à corrosão. O estudo da corrosão em barras metálicas por imersão

total envoltas por concreto tem também sua importância, uma vez que, parte da estrutura encontra-se submersa em várias etapas do tratamento de esgoto.

A Corrosão Acelerada por Imersão Modificada (CAIM) é um ensaio desenvolvido inicialmente por Lima (1990) e, posteriormente, melhorado por Selistre (1993), Marchesan et al. (1997) e Kirchheim et al (2005), para avaliar a corrosão em corpos-de-provas de concreto armado sobre a influência de aplicação de um potencial químico na presença de eletrólito rico em cloretos. Os resultados são obtidos em termos de correntes de corrosão e perda de massa, permitindo uma avaliação relativa de materiais ou tratamentos contra a corrosão (TORRES, 2006).

Sobre a prerrogativa de manter condições experimentais iguais para o estudo da degradação da armadura do concreto pelo método CAIM com foco em estudos comparativos futuros, este trabalho propõe-se a estudar os mecanismos de corrosão por imersão direta em barras de aço-carbono, usando solução de cloreto de sódio, evitando assim, interferentes provocados por presença de micropilhas formadas no amassamento do concreto. Para o estudo dos mecanismos de corrosão nas barras de aço-carbono provocadas pela imersão em AC, o ensaio CAIM passa a usar como eletrólito, esta água de reuso, sendo a mesma a fonte de cloretos.

1.2 Justificativa

Vários estudos com uso de água cinza no amassamento do concreto foram realizados, entre eles podemos citar os estudos realizados por Saricimen em 2008, Mahasneh em 2014, Malaguti em 2016 e Ghrair *et al. em 2018*. Em 2014, Mahasneh, mostrou que o concreto produzido com água residual, previamente tratada, pode atingir mais de 90% da resistência à compressão nos tempos de ensaio 7, 14, 21 e 28 dias. Na Arábia Saudita os resultados mostraram que as águas residuais tratadas atenderam aos padrões exigidos, de acordo com a British Standard 3148, para a produção de concreto (SARICIMEN *et al.*, 2008). Em 2018, Ghrair *et al.* relata que a qualidade da água cinza e quantidade da mesma na mistura do amassamento descrevem bons resultados na estrutura concretada. No Brasil, estudos oriundos da utilização do reuso de águas residuais da lavagem de caminhões betoneiras, atingiram níveis satisfatórios em relação à resistência do concreto (MALAGUTI, 2016). É importante lembrar que o Brasil possui regras rígidas quanto ao uso de águas de resíduos no concreto (NBR 15900-1, 2009), estas regras, somadas a inúmeras variações da composição da água cinza (AC), inflamam as discussões sobre o uso desta água na construção, em especial quanto

a quantidade de sais como sulfatos e cloretos presentes neste tipo de água capazes de potencializar a corrosão no aço da estrutura.

O uso de aço carbono na armadura do concreto exige composições mais resistentes à corrosão. O teor de carbono no aço classifica quanto à permissibilidade a processos oxidativos. O carbono funciona como uma barreira entre as microestruturas formadas por perlita ou ferrita e outros metais como, por exemplo, o cobre (BHADESHIA; HONEYCOMBE, 2017), evitando a formação de pilhas galvânicas. Assim, os aços considerados com alto teor de carbono possuem uma quantidade de carbono maior 0,5%, os de teor médio carbono possuem concentração de carbono entre 0,2% a 0,49%, e os de baixo teor de carbono possuem concentração entre 0,05% e 0,19% de carbono (NBR 87, 2000). Com o aumento do teor de carbono há redução de formação de pilhas espontâneas no interior do aço, pois o carbono evita o contato direto com o eletrólito do meio externo.

Apesar da evolução da indústria do aço quanto a sua resistência à corrosão, a exposição do mesmo a ambientes corrosivos diferentes implica em mecanismos distintos de oxirredução, o que pode acelerar o desgaste e comprometer a usabilidade. O recobrimento concretado do aço nas estruturas para edificações é requisito importante para cumprir exigências às resistências mecânicas da edificação mas, também tem um papel a ser considerado na proteção à corrosão.

Quando a camada de amassamento do concreto sofre despassivação em função da diminuição do pH no processo de carbonatação a intervenção é inevitável. O processo de degradação da massa do concreto, em geral, provoca o aparecimento de fissuras, trincas, manchas e deformações da estrutura com conseqüente descolamento do concreto. nestes casos as intervenções são invasivas e exigem avaliação cuidadosa dos seus impactos na estrutura, além de serem bastantes dispendiosas. Assim, é necessário entender os mecanismos envolvidos na corrosão em cada caso para, então, escolher o método para proteção ou interrupção das reações oxirredutoras.

Os mecanismos corrosivos na armadura do concreto são muitos e relacionam-se fortemente com o tipo de eletrólito pela qual a estrutura está exposta, entende-se que a água cinza é um eletrólito em potencial, principalmente quando usada para hidratação do cimento induzindo infinitas possibilidades de formação de micropilhas ao redor da estrutura metálica.

As etapas metodológicas deste trabalho permeiam, principalmente, por ensaio de aceleração da corrosão, método CAIM, no qual as barras de aço carbono são imersas diretamente em eletrólitos de cloreto de sódio e água cinza com intuito de identificar e compreender os mecanismos de corrosão sem interferências das micropilhas do amassamento.

O estudo inerente a esta pesquisa permitirá identificar, posteriormente, a interferência das micropilhas do amassamento de forma indireta, e proporcionará ações de intervenção da corrosão desde o momento da mistura, a cura do concreto sobre a barra e a sua exposição a eletrólitos como água salina e água cinza. A avaliação do comportamento do aço exposto a técnicas eletroquímicas permitirá compreensão das reações na interface aço-concreto e dos produtos de corrosão formados.

Há, no entanto, uma lacuna nos estudos sobre os impactos da utilização de água menos nobre no concreto e os risco de corrosão da estrutura metálica no interior do mesmo, o que nos dá respaldo de mergulhar em etapas metodológicas a passos curtos, regadas a bom senso e muita fundamentação teórica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é, a partir do método de corrosão acelerada por imersão (Método CAIM), avaliar a degradação de hastes de aço carbono, em termos de evolução da corrente e perda de massa, frente à corrosão submetida na presença de solução salina e água cinza.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar a taxa de corrosão das hastes metálicas frente a presença de eletrólitos salinos e de água cinza;
2. Avaliar a corrosão das barras de aço através do microscópio óptico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A escassez de água e reutilização consciente

A água é fonte de vida primordial e o seu uso abundante pode prejudicar o mundo de maneira abrangente, sendo as formas prejudiciais mais comuns a seca, poluição e a má distribuição desse recurso, necessitando assim, de medidas urgentes e sustentáveis, que diminuam o consumo da mesma de forma em que não agrida ou agrida menos o meio ambiente (BARBOSA, 2021). Várias regiões no mundo enfrentam problemas em relação à água, principalmente no Norte da África, Oriente Médio. Muitas áreas com climas áridos com disponibilidade de água inferior à considerada mínima, entre outras em processo de desertificação. Em inúmeros lugares a água já é contemplada como mercadoria, considerada com um bem escasso e com valor econômico, indicando ser um tendência mundial (HAFNER, 2007). Na região do semiárido brasileiro existem enormes desafios e dificuldades no que diz respeito à gestão de recursos hídricos (DANTAS *et al.*, 2018). Na Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, sediado em Dublin, o Brasil recebeu o apoio essencial para fortalecer a iniciativa coletiva da sociedade, especialistas, cientistas e profissionais do setor, visando aprimorar a administração dos recursos hídricos no país (GOMES *et al.*, 2008).

No Brasil, a água é essencial para a produção de energia elétrica, pois cerca de 65% da energia utilizada é obtida em hidrelétricas, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Logo, quando há um baixo volume de chuvas previstas além do impacto negativo no abastecimento domiciliar há um comprometimento da produção energética nacional. Quando não há chuvas suficientes para abastecer os reservatórios, é necessário a utilização de usinas termelétricas.

De acordo com o Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias), o Brasil detém 53% dos recursos hídricos da América do Sul e 12% das reservas de água doce do planeta (ALBUQUERQUE, 2021).

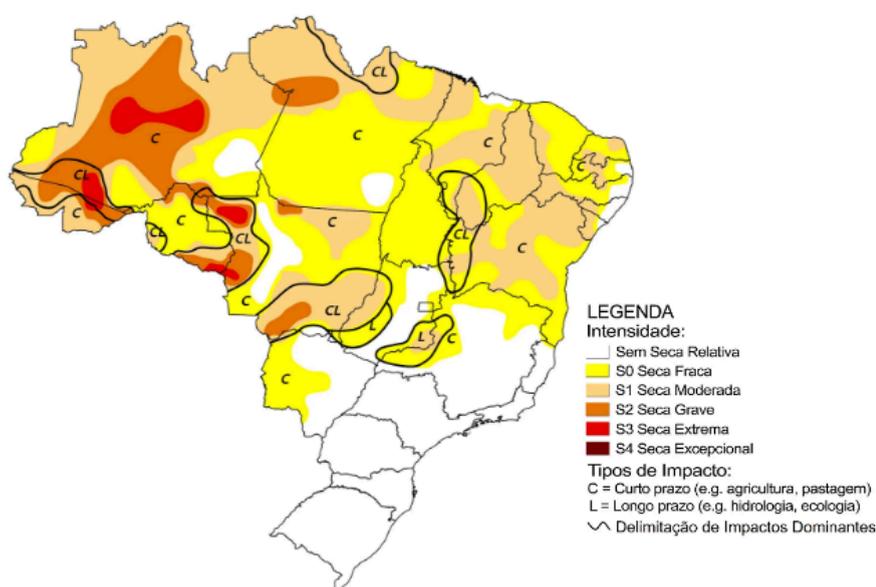
Segundo levantamento do MapBiomias divulgado em 2021, a má gestão dos recursos, como o desmatamento, recai diretamente sobre os ecossistemas do país, que perdeu cerca de 16% da sua superfície de água desde 1991 (ALBUQUERQUE, 2021).

Embora o Brasil apresenta reservas hídricas abundantes (MOTTA *et al.*, 2023), a disponibilidade desses recursos revela desigualdades gritantes refletindo em conflitos sociais (FIOCRUZ, 2023). É no nordeste, que a escassez hídrica toma força baseada em dois

principais pontos, na baixa pluviosidade e irregularidade das chuvas da região. Além disso, uma estrutura geológica que não permite acúmulo adequado de água no subsolo, o que, de certa forma, interfere inclusive no volume de água dos rios (FIOCRUZ, 2023).

No estado do Ceará, o Monitor de Secas revela que o estado voltou a ter 100% das regiões com áreas de seca relativa após 27 meses. Conforme o levantamento, a situação não era vista desde julho de 2021 (PAULINO, 2023). No período, houve o agravamento da seca no oeste, que passou de fraca para moderada. Como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Agravamento da seca em diversos Estados (Outubro/2023)



Fonte: Monitor de Secas, 2023

A região afetada pelo avanço da seca moderada, no Ceará, abrange parte dos Sertões dos Crateús e Inhamuns, do Cariri e da Serra da Ibiapaba. Entre os municípios atingidos, estão Croatá, Poranga, Crateús, Quiterianópolis, Parambu, Tauá, Aiuaba, Campos Sales e Salitre (PAULINO, 2023).

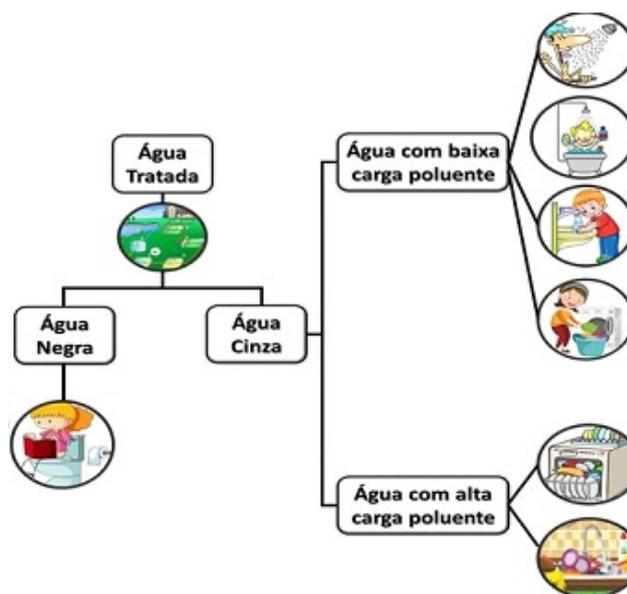
Em regiões de maior escassez hídrica, mecanismos de reuso da água para fins não potáveis é importante para o aspecto econômico, social e ambiental. Nesse sentido de reutilização, a água cinza clara por possuir uma baixa carga de poluente pode ser usada para outros meios em substituição da água potável. Como lavagem de calçadas, regar plantas e até mesmo para lavagem de bacias sanitárias.

2.2 Água cinza

Água cinza é toda a água residuária geradas a partir de fontes sem contaminação fecal (MENDES, 2014). As propriedades da água cinza variam conforme localidade, classe social, nível de ocupação da residência, cultura e hábitos dos moradores.

A água cinza pode ser dividida em duas categorias: águas cinzas claras e águas cinzas escuras (HENZE e LEDIN 2001, *apud* MAY, 2009). Esta denominação possui relação com o teor poluente e sua origem. Assim, as águas cinzas claras, com baixa carga poluente são oriundas de chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupa e, as águas cinzas escuras são aquelas derivadas das pias de cozinhas e de máquinas de lavar pratos (LUCAS, 2016). Há, portanto, uma relação com o teor da carga poluente com a quantidade de matéria orgânica. A Figura 2 apresenta as fontes de água cinza e suas respectivas classificações com base na carga poluente.

Figura 2 - Fontes de água cinza e sua classificação quanto a carga poluente.



Fonte: Adaptado de Cardoso e Melo, 2020

Conhecer as características físico químicas da água cinza direciona não somente o tratamento mais adequado como também o tipo de uso apropriado. No Brasil e no exterior, estudos realizados por diversos pesquisadores mostraram que a água cinza geradas possuem, em geral, turbidez, sulfatos e matéria orgânica elevada e índices de material fecal pequeno

indicando baixas contaminações por bactérias do tipo coliformes fecais (OTTOSON; STENSTROM, 2003; FEITOSA *et al.*, 2011 *apud* FERREIRA, 2018).

A composição da água cinza depende de vários fatores, incluindo fontes e instalações de onde a água é retirada (LUCAS, 2016). A Figura 3 mostra a composição da água cinza de acordo com o seu uso.

Figura 3 - Composição da água cinza de acordo com o uso.



Fonte: Autor (2023)

A Figura 3 mostra que a quantidade de matéria orgânica decresce do 1 ao 5 indicando ser a água derivada da máquina de lavar com baixo teor orgânico. No entanto, há de se considerar que embora não esteja cotado a presença de bactérias é possível encontrá-las de acordo com o tipo de roupa. A presença de sais do tipo cloretos derivados de produtos saponáceos pode ser os responsáveis pelo aumento da condutividade apresentada por Boyjoo *et al.* em 2013 com valores entre 190 a 3000 μSC^{-1} . A presença de elevadas concentrações destes sais podem comprometer determinados usos pois podem acelerar a corrosão.

2.3 Reuso da água na construção civil

Segundo Dantas *et al.* (2019), considerando que os recursos hídricos são escassos, o reuso de águas residuárias, implica em redução no volume de água potável utilizado, o que

por sua vez, implica em benefícios sociais, econômicos e ambientais. Dada a relevância da água na construção é de suma importância propor alternativas para o reúso da água na produção de materiais de construção. Passando por uma gestão integrada, promovendo o abastecimento de água não só apenas de fontes convencionais, mas também a partir da reutilização de águas residuais (ELHEGAZY; EID, 2020).

Embora não seja um material de construção, a água é fundamental para a execução de qualquer empreendimento do início ao fim. Essencial para atividades como produção de argamassa e concreto. O concreto é o material da construção mais utilizado, estimando-se seu consumo na ordem dos 19 bilhões de toneladas ao ano (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Data essa importância, é imprescindível implantar medidas que analisem sistematicamente o uso da água, como forma de otimizar o seu consumo e descarte (SILVA; VIOLON, 2013). Uma das alternativas mais utilizadas é o reúso de águas em canteiros de obras.

Para Fiori, Fernandes e Pizzo (2006), reúso da água é a reutilização da água, que, após tratada e purificada, destina-se a em outras atividades, com o objetivo de se preservarem os recursos hídricos existentes e garantir a sustentabilidade. Beneficiando a preservação da água potável.

É importante a implementação de técnicas de substituição da água potável como o reaproveitamento da água da chuva (CARDOSO; MELO, 2020), água de drenagem subterrânea (CASTILHO; OLIVEIRA, 2018) e reúso de água cinza (ELHEGAZY; EID, 2020; LI *et al.*, 2009)

2.4 Corrosão

Pode-se definir a corrosão como a deterioração de um material, em geral, um processo espontâneo, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 2022).

Quando a corrosão ocorre nas armaduras de concreto representa alto risco a integridade da estrutura (BROOMFIELD, 2007; BENTUR *et al.*, 1997; PEDEFERRI *et al.*, 2013; *apud* KLEIN *et al.*, 2022). Segundo Girão (2008) a corrosão em estruturas podem ser classificadas como :

- a) *Corrosão uniforme*: corrosão com perda uniforme ou regular da espessura do material;

- b) *Corrosão por placas*: corrosão localizado em regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, formando placas com escavações;
- c) *Corrosão alveolar*: corrosão com presença de alvéolos (cavidades) na superfície metálica, de fundo arredondado e profundidade menor que seu diâmetro;
- d) *Corrosão por pite*: corrosão semelhante a alveolar, mas com profundidade maior que o diâmetro da cavidade;
- e) *Corrosão intergranular*: corrosão localizada entre os grãos da microestrutura;
- f) *Corrosão transgranular*: corrosão nos grãos da microestrutura e
- g) *Corrosão filiforme*: Corrosão mais frequente sob as películas de tintas ou outros revestimentos, em meios úmidos. É caracterizada pelo aspecto de filamentos que toma o produto da corrosão.

A entrada de íons cloreto e/ou dióxido de carbono na estrutura de concreto é a principal causa de iniciação da corrosão dos vergalhões, sendo que o íon cloreto causa a destruição do filme passivo e, conseqüentemente, a corrosão localizada (BROOMFIELD, 2007; BENTUR *et al.*, 1997; PEDEFERRI *et al.*, 2013; *apud* KLEIN *et al.*, 2022). O íon cloreto causa destruição local do filme passivo levando à corrosão localizada (KLEIN *et al.*, 2022)

A camada de óxido produzida inicialmente pela corrosão em hastes metálicas produz uma passivação que reflete em proteção da armadura contra a corrosão. Na presença de cloretos a camada de óxido de ferro é destruída, iniciando novamente o processo de corrosão da haste (NEVILLE, 1995). Em geral, o íon cloreto penetra na superfície do concreto através de um mecanismo como absorção capilar, difusão e pressão hidrostática (BASHEER *et al.*, 2001).

A corrosão do concreto é determinada pela despassivação do amassamento provocada por agentes corrosivos. Estes agentes podem ser diversos como atmosfera rica em umidade e sais em regiões marítimas, ambientes com atmosfera rica em eletrólitos industriais como ácidos, bases ou sais dissolvidos em umidade. Todos estes agentes são comuns na corrosão do tipo atmosférica e podem provocar corrosão na extensão da área exposta podendo a degradação ocorrer em várias camadas até atingir as hastes metálicas. Os tipos de corrosão descrita na literatura para o concreto são: generalizada do tipo uniforme e irregular bem como as localizadas do tipo puntiforme e fissurante (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Condições mais agressivas de corrosão podem acontecer em concretos submersos a água do mar ou em barramento de águas residuárias. Em regiões que o concreto encontra-se

submerso em água do mar a degradação acontece pela atividade de sais como cloretos e sulfatos bem como aqueles que possuem magnésio em sua composição. Além disso, os microorganismos presentes na água podem gerar a corrosão biológica das armaduras (LIMA *et al.*, 2007). Algo parecido pode acontecer com estruturas de concreto em estações de tratamento somadas à presença de sulfeto de hidrogênio (H₂S) produzidos por bactérias redutoras de enxofre reduzindo o pH e acelerando o mecanismo de despassivação química da massa. Outros processos bacteriológicos aeróbicos também podem acontecer dependendo da presença de bactérias oxidantes de enxofre e da disponibilidade de oxigênio no efluente (GOIS, 2016).

O sistema de corrosão no concreto pode ainda ter um relação com a porosidade do concreto e recobrimento dos agregados, agressividade do meio, mecanismos multivariados de pilhas no amassamento, concentração de sais do tipo cloretos e sulfetos, tempo de exposição ao agente agressor com consequente permeabilidade do eletrólito até a chegada das hastes metálicas.

Quando o eletrólito entra em contato com a estrutura metálica a corrosão ocorre com a oxidação do ferro no ânodo e formação de OH⁻ e H₂ no cátodo (GENTIL, 2022), conforme reações apresentadas nas equações de 1 a 4.

Ânodo



Cátodo



Uma vez que a corrosão é iniciada no vergalhão, o processo pode ser desacelerado pela formação de camada passivadora. No entanto, deve-se enfatizar que, uma vez que a camada de amassamento concretado é rompida, a sustentação da edificação já está comprometida. Em caso de ausência de manutenção, o meio agressor pode romper a passivação penetrando em camadas mais profundas do aço aumentando os riscos de ruptura.

2.5 Ensaio de corrosão acelerada

O estudo da atividade dos íons cloreto na corrosão de estruturas de concreto envolve aspectos que são influenciados pelo tipo de material, o tempo de cura e o ambiente de transporte dos íons. Ensaios da evolução da corrosão em concretos em condições reais de exposição proporcionam o entendimento de múltiplas ações simultânea e aleatória, no entanto estes ensaios são demorados levando cerca de 2 a 10 anos (MOREIRA; FERREIRA, 2019). Desta forma para suprir esta necessidade os mecanismos da corrosão em concreto são estudados, em sua maioria, por ensaios acelerados em laboratório.

Os ensaios acelerados tentam aproximar-se ao máximo das condições reais, mas cada pesquisador constrói suas próprias metodologias a depender do foco de seu estudo e das suas condições laboratoriais. Com uma diversidade de metodologias aplicadas a comparação de resultados nem sempre é viável.

Muitos destes estudos empregaram, como eletrólito, solução alcalina adicionada de cloretos para compor um meio corrosivo à armadura de concreto (ANGST *et al.*, 2009; TREJO; HALMEN; REINSCHMIDT, 2009). Os pesquisadores também lançam mão de uso corrente elétrica (CASTELLOTE; ANDRADE; ALONSO, 2002; TREJO; PILLAI, 2003), ciclos de secagem e umedecimento de corpos de prova de concreto (GLASS; HASSANEIN; BUENFELD, 1997; PAGE *et al.*, 2002; VIEIRA, 2003; SILVA, 2006) e a exposição à névoa através por ensaio de *salt ponding* (JOUKOSKI *et al.*, 2004; CHIANG; YANG, 2007).

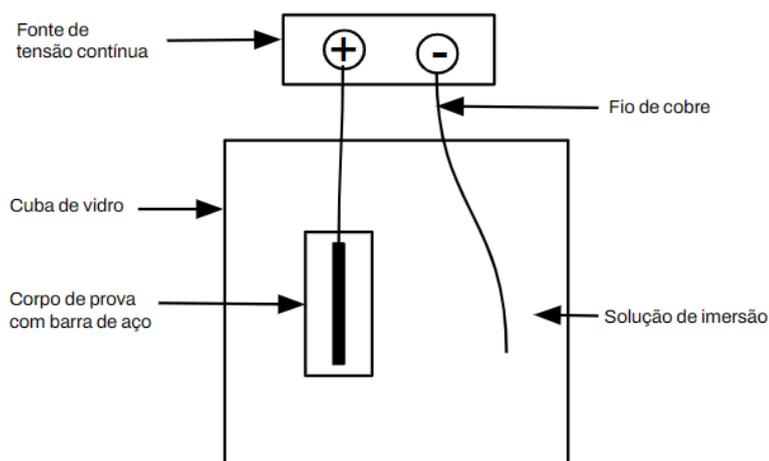
No Brasil, um dos primeiros estudos de corrosão por cloretos em concretos foi registrado em 1981, por Paulo Helene (HELENE, 1986) abrindo espaço para os trabalhos de Maryangela G. Lima em 1990 (LIMA, 1990), Osvaldo M. Cascudo em 1991 (CASCUDO, 1991), Enio J. Pazini Figueiredo em 1994 (FIGUEIREDO, 1994), Gibson Rocha Meira em 2004 (MEIRA, 2004), Marcelo Henrique F. de Medeiros em 2008 (MEDEIROS, 2008) e Ronaldo Alves de Medeiros Júnior em 2014 (MEDEIROS JÚNIOR, 2014).

O ensaio de corrosão acelerada por imersão modificada (CAIM) é um método que permite avaliar de forma direta os efeitos da corrosão sobre a barra sobre a perspectiva da perda de massa e acompanhamento da evolução da corrente associada aos processos corrosivos (TORRES, 2006). Este ensaio vem sendo adaptado desde sua precursora Varela *et al.* em 1988, passando por Lima (1990), depois modificado e aperfeiçoado por Selistre (1993), Marchesan *et al.* (1997) e Kirchheim *et al.* (2005).

O ensaio consiste em imergir corpos de prova de concreto armado, em uma solução com 35% de cloreto de sódio. Sobre o sistema aplica-se uma ddp por um ciclo de 8h. Os

resultados são obtidos em termos de correntes de corrosão e perda de massa, permitindo uma avaliação relativa de materiais ou tratamentos contra a corrosão (TRINDADE, 2013). A Figura 4 apresenta de forma esquemática o ensaio CAIM.

Figura 4 - Diagrama ensaio CAIM com CP submerso



Fonte: Torres (2006)

Torres em sua dissertação em 2006 descreve que o ensaio CAIM precisa ainda esclarecer e aperfeiçoar algumas incertezas quanto às condições padrão mais adequadas do experimento. Lacunas como a ddp mais apropriada para estimular a corrosão, efeitos de variação do tempo de ensaio, sensibilidade do equipamento, conexão da fonte de tensão à barra e ao nível de submersão dos cps devem ser estudados para melhorar a sensibilidade do equipamento e do experimento de forma a evitar alterações nas características do processo.

De fato, para efeitos comparativos é importante manter padrões do experimento de forma a observar variações apenas nos corpos de provas usados na aceleração da corrosão.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

3.1.1 Água cinza

A água cinza usada nesta pesquisa foi originária de máquina de lavar roupa e, portanto, e considerada de baixo potencial orgânico. Para fins de análise, a água cinza foi caracterizada de acordo com os seguintes padrões: demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), cloretos, alcalinidade e dureza. As análises foram realizadas em colaboração com o Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Inovação da Universidade Federal do Ceará em Crateús e os resultados cedidos por Soares (2023) e apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química da água cinza

Análises	Concentração Média
Cloretos (mg/L)	3118,82
Alcalinidade (mg/L)	141,88
Dureza (mg/L)	142,13
DBO ₅ (mg/L)	36,61
pH	6

Fonte: Soares (2023)

3.1.2 Barras de aço

Os segmentos de barras de aço utilizados para confecção dos cps para o ensaio CAIM são da classe CA50S/AR, com 12,5 mm de diâmetro e ± 14,5 cm de comprimento, densidade 7,85 g/m (Arcellor Mittal, 2023).

Antes do ensaio as barras foram limpas, para retirar qualquer tipo de impurezas, que afetasse a determinação da massa inicial ou o desencadeamento do processo corrosivo na superfície da mesma.

Após a realização do ensaio, a limpeza das barras foi realizada conforme a norma ASTM G1-03/2017 usando solução de 20% de citrato de diamônia para realizar a pesagem

das barras. O processo de limpeza foi repetido 3 vezes até que se obtivesse uma massa constante das barras de aço.

3.1.3 Conectores

Após a limpeza das barras, as mesmas foram conectadas a fios de cobre de $1,5 \text{ mm}^2$ para viabilizar o fluxo induzido de elétrons no sistema conforme descrito por Torres (2006). A Figura 5 mostra como foi fixado o conector de cobre na barra. Quando dentro do ensaio CAIM os tarugos foram apoiados em pedaços de isopor para evitar possível dispersão de corrente com o recipiente de vidro.

Figura 5 - Posição do fio sobre a barra

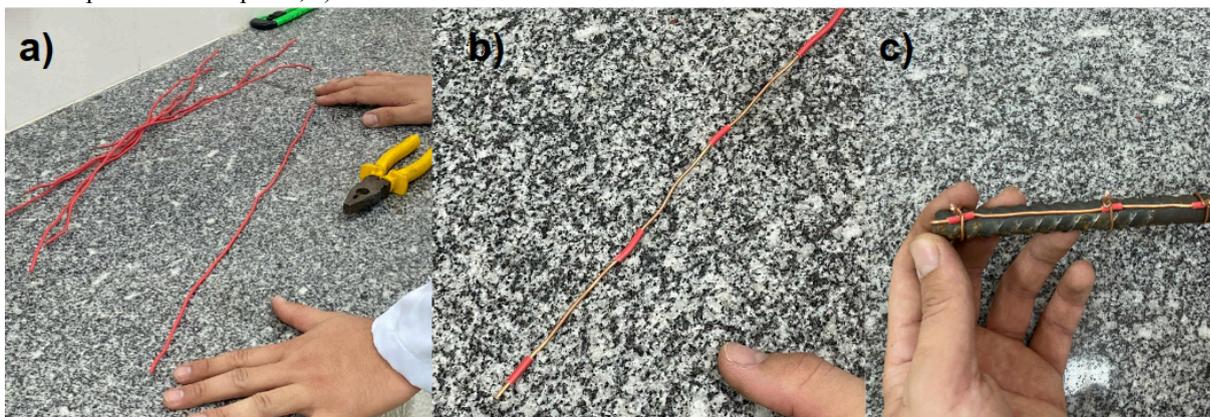


Fonte: Autor (2023)

As etapas de preparo para a conexão da barra de aço com o fio condutor estão apresentadas a seguir e na Figura 6:

- a) Cortava-se uma pedaço de fio de aproximadamente 50 cm;
- b) Desencapava-se um trecho do fio, equivalente ao comprimento da barra;
- c) Cortavam-se pequenos pedaços da capa isolante para serem usados como apoios para evitar o contato entre o fio e a barra.

Figura 6 - Detalhamento da metodologia para o posicionamento do fio na barra. a) Corte do fio; b) Fio desencapado com os apoios; c) Fio amarrado na barra



Fonte: Autor (2023)

3.1.4 Eletrólitos

Para o estudo dos mecanismos de corrosão por imersão acelerada foram usados dois tipos de eletrólitos: cloreto de sódio 0,6 mol/L e água cinza (AC) coletada de máquina de lavar.

O eletrólito salino foi aplicado para efeitos comparativos dos processos oxidativos nas barras de ferro submersa a água cinza.

O volume usado das referidas soluções, dentro da cuba de vidro, foi de 6L, o suficiente para garantir que as barras ficassem sempre submersas durante o ciclo de 8h.

3.1.5 Cuba de vidro

Para acomodar as barras de aço-carbono e o meio corrosivo foi usado uma cuba de vidro com as seguintes dimensões: 30cm x 30cm x 25cm.

3.1.6 Fonte de tensão

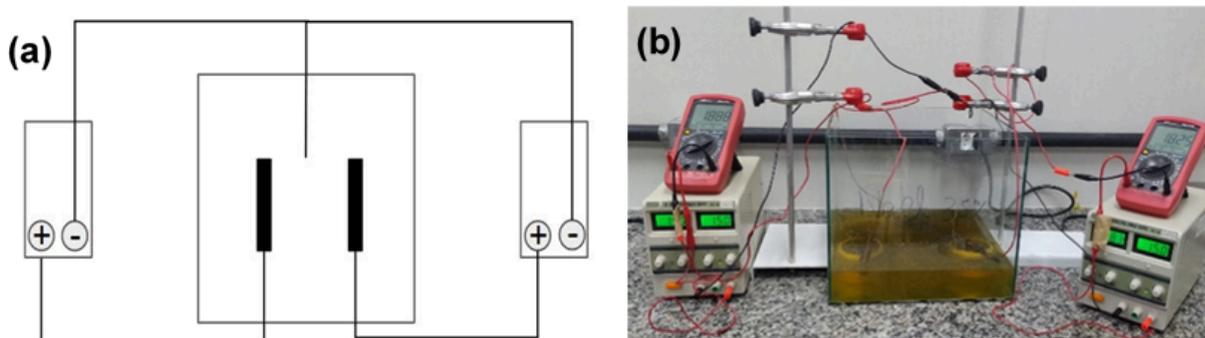
Foi utilizada no ensaio CAIM uma fonte de tensão constante da marca Politerm modelo POL-16A, com capacidade máxima de 32 V e 5 A.

3.2 Ensaio CAIM

a) Equipamento

O ensaio CAIM foi montado de acordo com esquema mostrado na Figura 7 (a-b). Cada barra de aço foi conectada a uma fonte de voltagem estimulando a migração dos elétrons dentro do sistema.

Figura 7 - Ensaio CAIM. a) desenho esquemático da conexão das barras com a fonte; b) Imagem real do experimento



Fonte: Autor (2023)

Com objetivo de verificar os mecanismos corrosivos realizados no vergalhão de forma a isolar qualquer outro mecanismo interferente provocado por micropilhas do amassamento no corpo de prova, o ensaio CAIM foi realizado imergindo as hastes diretamente nos eletrólitos de estudo.

Para diferenciar a corrosão provocada pela diferença do fluxo de íons cloretos nas barras de aço, as mesmas foram imersas em eletrólitos diferentes conforme descrito anteriormente.

O sistema, em duplicata, usou um banho único para as duas barras em estudo, no entanto, optou-se por usar duas fontes para evitar interferências ou divisão da entrega de corrente durante o ciclo de 8h (Figura 7 (b)). A leitura de corrente foi realizada por um multímetro digital UNI-T UT33B a cada 15 minutos até finalizar o ciclo de 8h.

b) Lavagem das barras de aço

Antes das pesagens das barras, foram realizados procedimentos de limpeza com a solução recomendada pela ASTM G1-03 (2007) antes e após o ensaio. Neste procedimento,

as barras ficam imersas na solução de limpeza de 20% de citrato de diamônia por 20 minutos em banho maria (Figura 8) em 70°C, sendo depois lavadas em água corrente. As barras limpas foram então colocadas na estufa a 45°C por 45 minutos (Figura 9), para estimular a evaporação de qualquer água remanescente.

Figura 8 - Barras de imersas na solução de limpeza



Fonte: Autor (2023)

Figura 9 - Barras em estufa



Fonte: Autor (2023)

Após o procedimento de limpeza as barras foram pesadas, antes e após o ensaio, sendo suas massas, registradas.

c) Tensão de indução

Neste trabalho foi utilizada uma tensão de 15 Volts. Porque nesse valor de tensão, a corrente do ensaio aproximou-se da capacidade máxima do equipamento, 5 A.

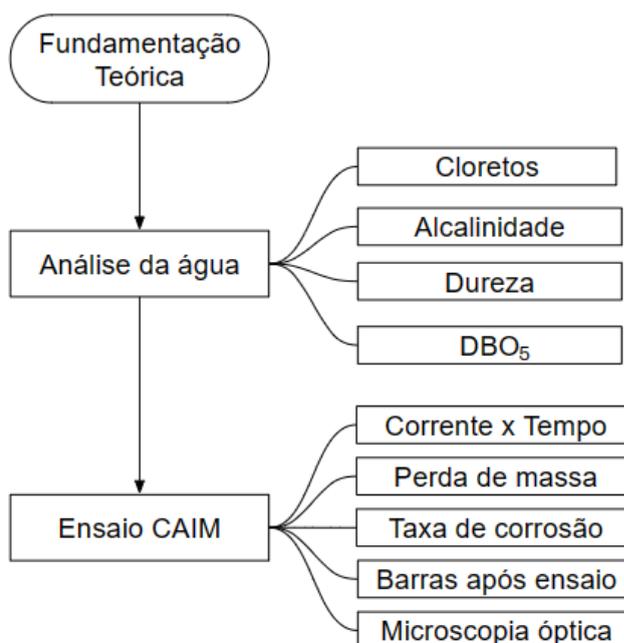
d) Tempo de ensaio

As hastes metálicas foram submetidas a um período de 8 horas consecutivas sob a mesma tensão de eletrólito. Este período foi escolhido usando como base os experimentos de Torres em 2006. O pesquisador utilizou os períodos de 8h, 24h e 48h para o estudo do ensaio CAIM com corpos de provas de concreto, sendo possível verificar o início dos processos oxidativos logo nas primeiras 8 horas de experimento.

3.3 Resumo das etapas metodológicas

A Figura 10 apresenta de forma sucinta o fluxograma das etapas metodológicas abordadas nesta pesquisa.

Figura 10 - Fluxograma



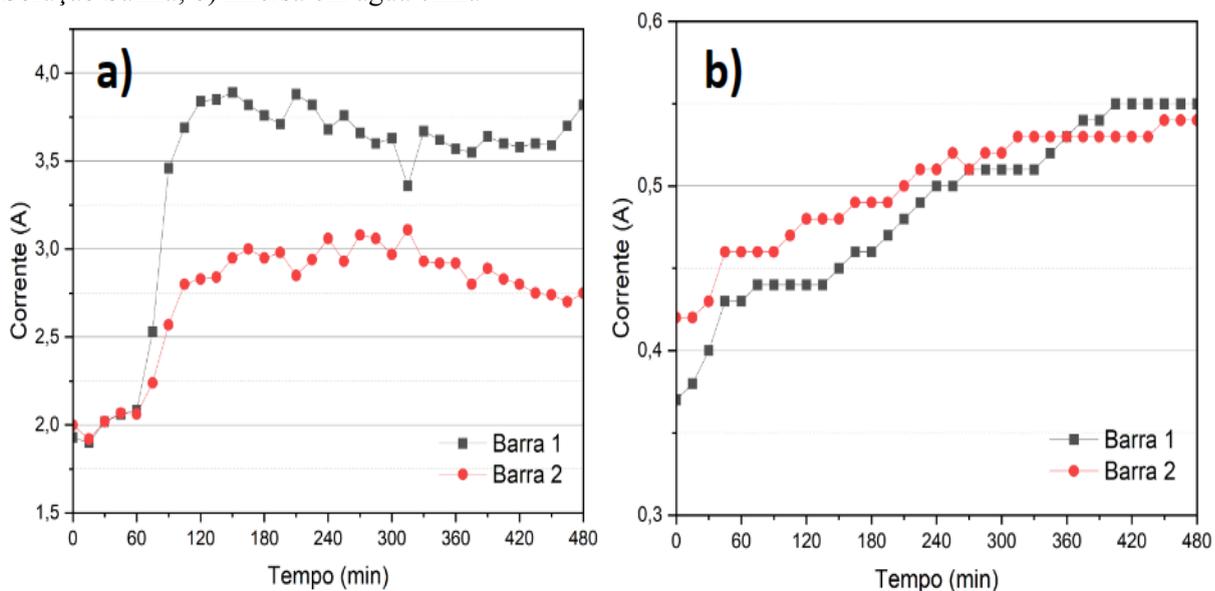
Fonte: Autor (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise do comportamento da corrente *versus* tempo

O Gráfico 1 (a)-(b) apresenta a evolução da corrente com o tempo sobre as barras de aço-carbono imersas respectivamente em água salina e água cinza. Observa-se no Gráfico 1 (a) que a corrente aumentou rapidamente nos primeiros 120 min passando de 2A para 4A na primeira barra e de 2A para 2,8A na segunda barra. É possível verificar ainda que, após este período há um patamar de constância da corrente a qual mantém-se entre 3,5A a 3,9A (Gráfico 1 (a)). Segundo Trindade (2013), este comportamento indica a formação de uma camada passivadora. Desempenho diferente foi verificado para as barras submetidas à corrosão por imersão em AC (Gráfico 1 (b)), na qual apresentou etapas de crescimentos seguidos de pequenos momentos de estabilidade, certamente devido a formação e rachadura de barreira de passivação. Observa-se ainda que, a diferença de corrente entre as barras de aço submersas em AC foi menor que as observadas para o aço submerso em água salina não sendo superior a 0,55A o que mostra uma melhor correlação entre as resposta de corrente entre as barras submersas.

Gráfico 1 - Comportamento da corrente em função do tempo sobre as barras de aço. a) Imersa em Solução Salina; b) Imersa em água cinza

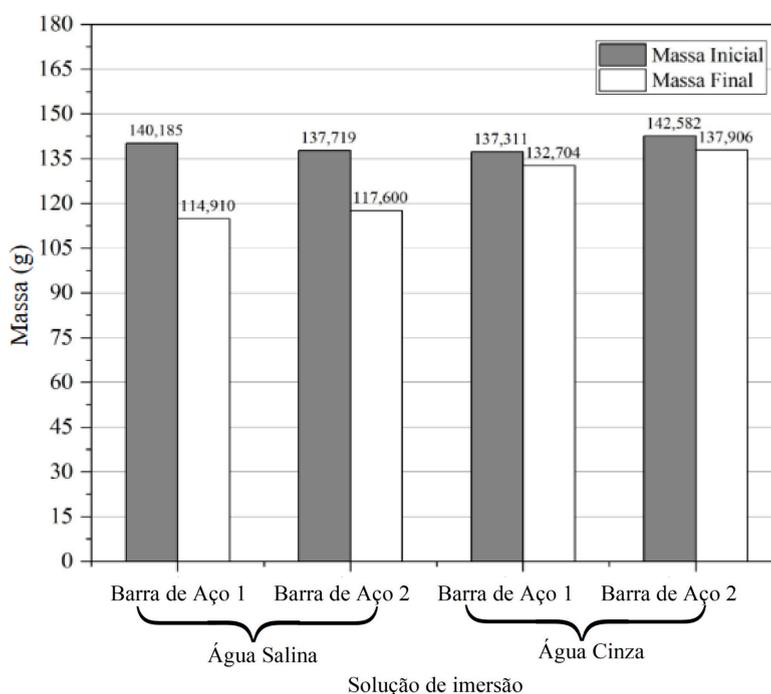


Fonte: Autor (2023)

4.3 Análise da perda de massa

No Gráfico 2 encontra-se a variação das massas das barras de aço estudadas antes e após o ensaio CAIM. Observa-se que após a corrosão a barra imersa a AC perderam cerca de 3,4% de massa, enquanto que as barras submetidas à corrosão por imersão em AS apresentaram redução entre 14 a 18% de massa, indicando ser a corrosão após ciclo de 8h, maior para eletrólito salino do que para o eletrólito AC. A corrosão no sistema com AS pode ter sido maior devido a disponibilidade de cloretos em maior quantidade.

Gráfico 2 - Perda de massa para as amostras após ensaio CAIM



Fonte: Autor (2023)

4.4 Análise da taxa de corrosão

A taxa de corrosão calculada para as barras expostas ao método CAIM por imersão salina foi de 556,6 mm/ano, enquanto que os valores obtidos para as barras emergidas em água cinza foi de 113,8 mm/ano. A taxa de corrosão obtida para as amostras corrobora, portanto, com os dados de evolução de corrente evidenciando que o eletrólito salino é mais agressivo que o de água cinza, certamente, por ter maior quantidade de cloretos disponíveis.

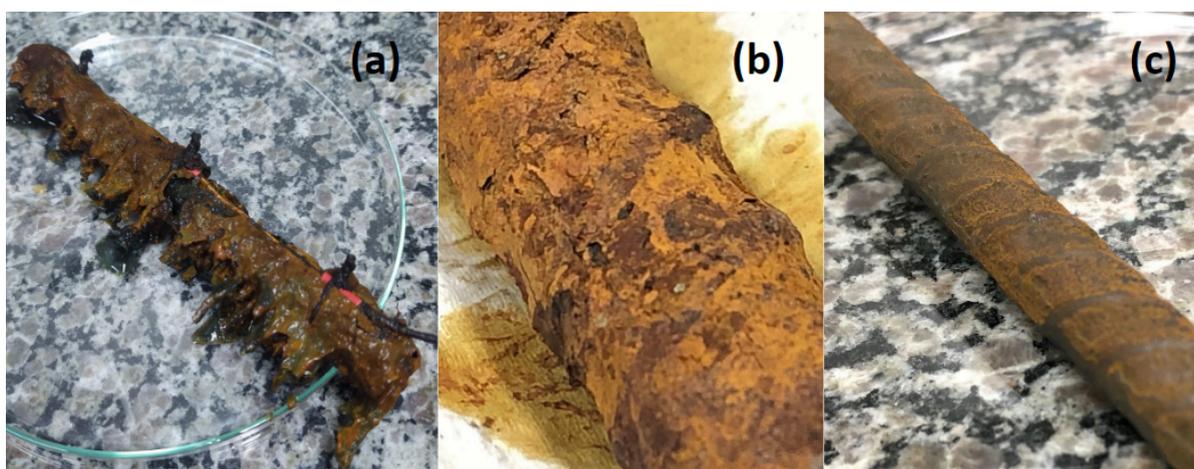
A presença de cloretos pode favorecer o desenvolvimento de processos corrosivos ao aumentar a eficiência do eletrólito pois, pode reduzir o pH e desestabilizar a camada

passivadora de óxidos que normalmente existe em torno da armadura (TORRES, 2006). No entanto, nem sempre a presença de sais pode acelerar a corrosão, isto vai depender principalmente do processo de hidrólise deste sal pela água e a formação de soluções ácidas ou básicas. Em casos de as soluções geradas possuírem $\text{pH} < 7$ a corrosão é intensificada, porém, se a solução produzida tiver $\text{pH} > 7$ como, por exemplo, soluções contendo fosfatos, carbonatos e silicatos, a corrosão pode ser inibida devido a camadas apassivadoras (GENTIL, 2022).

4.5 Análise superficial das barras de aço após corrosão induzida

A Figura 11 (a) apresenta a barra de aço imersa em solução salina após um período de 8h a olho nu. Na Figura 11 (b), é possível verificar, sobre a barra de aço, a película seca após a interrupção do ensaio CAIM depois de 12h à temperatura ambiente. Observa-se na Figura 11 (c), a barra de aço após lavagens sucessivas e obtenção de massa constante. É possível identificar nas Figura 11 (a)-(b) a formação de uma camada de sais e hidróxido de ferro (FeOOH) sobre a barra, indicativo de película de passivação.

Figura 11 - Barra de aço-carbono imersa em água salina. a) Removida do banho após 8h; b) Seca após 12 h a temperatura ambiente; c) Após lavagem e massa contínua.



Fonte: Autor (2023)

A Figura 12 (a) mostra a barra de aço-carbono imersa em AC logo após a interrupção do ensaio CAIM, pode-se verificar a formação de uma película de forma similar ao observada para a barra submetida a corrosão sob imersão de água salina. A Figura 12 (b) apresenta a película seca a temperatura ambiente, após 12h de interrupção do ensaio CAIM, sobre a barra

de aço. A Figura 12 (c) mostra a mesma barra após processo de lavagem até massa constante. A película formada nestas condições experimentais apresentou, visualmente, rachaduras o que indica possíveis falhas na passivação e, conseqüentemente, uma possível continuidade no processo corrosivo, porém, a quantidade de cloretos encontrado na AC foi de 3118,82 mg/L, valor bem inferior ao da solução salina usada o que pode explicar uma corrosão menos evidente a olho nu.

Segundo Schmuki *et al.* (1995) e Schmuki e Virtanen (1997), devido a liberação de hidroxilas (OH^-) no meio, derivada da redução da água no processo eletrolítico, o pH do banho deve elevar-se podendo alcançar valores superiores a 8, nestas condições e, em caso do pH não ser superior a 12, a armadura encontra-se passivada com um filme de Fe_2O_4 ou $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ contendo Fe^{+2} variando de 2 a 5% na composição da película. No caso da AC, há a possibilidade do pH elevar-se ainda mais, devido à presença do sabão em pó, que tem pH em torno de 11,5, podendo ser este o motivo do rompimento da película observado na Figura 12 (a). De acordo com o diagrama de Pourbaix, o equilíbrio da camada passivadora pode ser rompido caso este pH seja maior que 13 ou menor que 8 (GENTIL, 2022).

Figura 12 - Barra de aço-carbono imersa em água cinza. a) Removida do banho após 8h; b) Seca após 12 h à temperatura ambiente; c) Após lavagem e massa contínua.



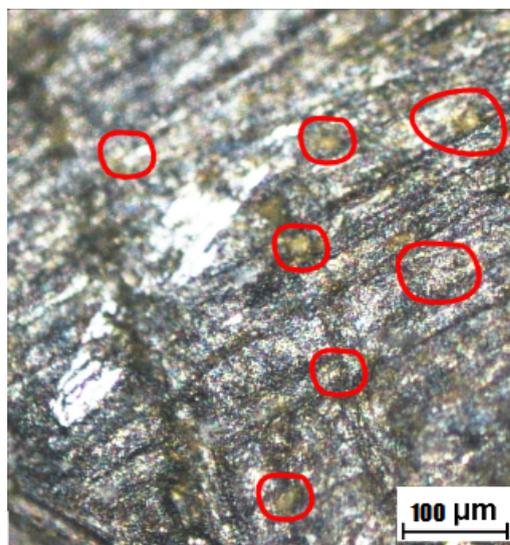
Fonte: Autor (2023)

4.6 Análise microscópica das barras de aço após corrosão induzida

A Figura 13 apresenta a microscopia da superfície de aço após ser submetido à corrosão acelerada pelo método CAIM em eletrólito salino. Verifica-se pequenos orifícios de diâmetros variando entre 15 a 20 μm que corresponde a corrosão por pites. É importante evidenciar que, este tipo de corrosão, uma vez iniciada, possui uma predisposição para

continuar multiplicando-se, uma vez que, dentro dos poros provocados pelo pite, o pH tende a ficar ácido, aumentando a solubilidade da camada passivadora e reiniciando o processo de corrosão no local (SEDRIKS, 1996; GIRÃO, 2008).

Figura 13 - Barra de aço imersa em solução salina.

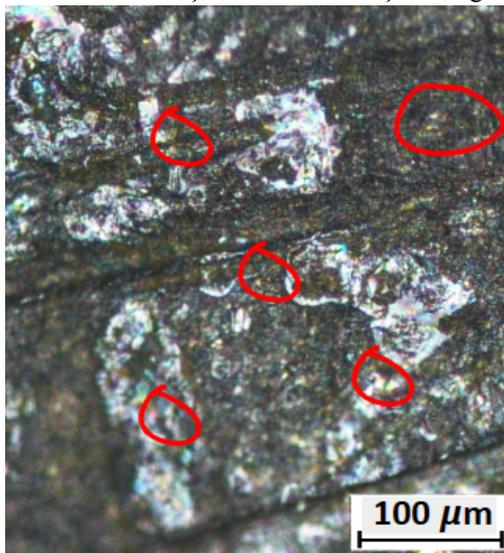


Fonte: Autor (2023)

A Figura 14 mostra a microscopia óptica da superfície do aço submetida a corrosão pelo método CAIM usando água cinza como eletrólito. É possível evidenciar mudanças na superfície compatíveis com corrosão, porém, de forma menos evidente do que observado na barra de aço-carbono exposta ao método CAIM usando como eletrólito água salina. Observa-se ainda que, o diâmetro das cavidades estão entre 15 a 20 μm e são equivalentes a corrosão do tipo pite podendo ser esta, em menor quantidade, devido a menor disponibilidade de cloretos e oxigênio presentes na AC.

A frágil película passivadora formada nestas condições experimentais, nos leva a crer que, o mecanismo indutor da formação do pite pode ter sido reduzido também, por uma menor influência do pH dentro das cavidades dos pites, devido a presença de saponáceos presente na AC que elevam o pH e a alcalinidade. Um fator também a ser considerado é a quantidade de oxigênio disponível que pode estar em menor quantidade, uma vez que a DBO_5 , foi relativamente pequena (23,39 mg/L) sugerindo um ritmo menor da corrosão.

Figura 14 - Barra de aço imersa em solução de água cinza



Fonte: Autor (2023)

5 CONCLUSÃO

O uso do método do ensaio de Corrosão Acelerada por Imersão Modificada (CAIM) foi satisfatório para obtermos resultados em termos de perda de massa das barras de aço, e seus estudos de evolução de corrente com seus reflexos na oxidação da barra de aço. A adoção do tempo de ensaio de 8h e a tensão de estímulo de 15 V foram suficientes para conduzir resultados bastantes significativos.

O estudo da corrente durante o ensaio CAIM, realizado com barras de aço-carbono imersa em água salina, por um período de 8 h nos possibilitou identificar a formação de filme passivador de sais e hidróxidos de ferro, fenômeno justificado pela constância em uma patamar de corrente após 120 min. O comportamento da corrente para o experimento realizado com AC indicou uma película passivadora frágil, fato este explicado pelo crescimento da corrente seguido de momentos constantes.

A comparação dos resultados das soluções de imersão em AC e AS nos mostraram que as barras de aço imersas em AS obtiveram corrosão mais intensa que as observadas para a barra imersa em AC, apresentando maior perda de massa, maiores picos de corrente e maiores pontos de corrosão observados no microscópio óptico.

A análise de perda de massa mostrou que o ensaio realizado com água salina, apesar de formar uma película passivadora, apresentou perdas entre 14 a 18% de massa sendo, esta perda, superior à observada para o ensaio com AC, que não ultrapassou o valor de 3,4%. A perda de massa para as amostras relacionam-se com a taxa de corrosão e, desta forma, o maior valor encontrado foi verificado para o ensaio de água salina com 556,6 mm/ano e o menor valor para o experimento realizado com AC com 113,8 mm/ano.

O estudo das imagens das barras de aço-carbono pela microscopia óptica, após o ensaio CAIM, mostrou mudanças na superfície compatíveis com corrosão do tipo pite. Este tipo de corrosão é considerada agressiva pois, uma vez instalada, seus poros funcionam como pontos vulneráveis da camada passivadora permitindo que o meio corrosivo acesse camadas cada vez mais profundas do aço. A microscopia também mostrou que a quantidade de pites presentes na barra imersa na AC foi menor que as observadas para o experimento com água salina, certamente devido ao equilíbrio entre o pH ácido no interior dos poros e o pH básico da AC derivados da alcalinidade e saponáceos. Estas condições reforçam os estudos de perda de massa e taxa de corrosão menores observadas após o experimento CAIM.

A AC usada nesta pesquisa é de baixo teor orgânico, o que pode indicar pouca ou nenhuma produção de sulfetos pelas bactérias, além disso, a quantidade de cloretos é menor

que o observado para a solução salina o que pode ter reduzido os estímulos da corrosão. que juntamente com as hidroxilas geradas pelas reações de oxirredução. A pequena quantidade de oxigênio disponível na AC também pode ter interferido na intensidade da corrosão das barras de aço imersas neste tipo de eletrólito uma vez que cessando a quantidade do mesmo a corrosão é desacelerada.

No entanto, a AC utilizada apresentou alcalinidade de 141,88 mg/L de CaCO_3/L que somadas as hidroxilas geradas durante o processo de corrosão podem ter elevado o pH e motivado a formação de uma película fragilizada.

Entender como a corrosão acontece mediante presença de AC pode ajudar a compreender como este tipo de água pode se comportar dentro do amassamento do concreto. O estudo do uso da AC no concreto deve considerar não só os efeitos da corrosão de forma direta na barra provocada pela própria AC, mas também, os efeitos corrosivos provocados por micropilhas formadas entre cimento/areia e/ou cimento/AC.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A avaliação da corrosão de concreto envolve uma grande quantidade de interferentes. O estudo com barras de aço para entendimento dos mecanismos de corrosão direta na barra de aço é apenas o começo. Desta forma há uma multitude de tópicos a serem estudados. Os tópicos que se seguem trazem alguns dos estudos a serem desenvolvidos como forma de enfrentamento da corrosão no concreto:

- a) Estudo do efeito da corrosão em corpos de prova em concreto armado sob influência de diferentes eletrólitos.
- b) Estudo da corrosão acelerada para o concreto em ciclos de 8h, 24h e 48h a 15V.
- c) Ensaiai no método CAIM corpos de prova feitos com água cinza em blends de 25% e 50% de AC;
- d) Ensaiai no método CAIM corpos de prova feitos com água cinza com 100% de AC;
- e) Estudar os mecanismos de corrosão através de análise de Infravermelho, microscopia eletrônica de varredura.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of ASTM Standards. **Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.** (Revision) ASTM G1- 03, 2017.

AL-JAYYOUSI, Odeh. R. **Grey water reuse: towards sustainable water management,** Desalination, v. 156, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 87: Aço carbono e ligados para construção mecânica-designação e composição química,** 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos,** 2009.

ANGST, Ueli; ELSENER, Bernhard.; LARSEN, Claus; VENEESLAND, Øystein.. **Critical Chloride Content in Reinforced Concrete: a review.** *Cement and Concrete Research*, v. 39, 2009.

ALBUQUERQUE, Naiara. **Crise hídrica: as raízes da (nova) escassez de água no Brasil.** Revista Galileu, 2021.

BARBOSA, Larissa Duarte Alves. **Sustentabilidade na construção civil: reuso da água.** Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. São Paulo, v.7. n.7. 2021.

BASHEER, Lulu; KROPP, Joerg; CLELAND, David J. Cleland. **Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review.** *Construction and Building Materials*, v. 15, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(00\)00058-1](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00058-1).

BOYJOO, Y; PAREEK, V. K.; ANG, M. A. **A review of greywater characteristics and treatment processes.** *Water Science & Technology*. n. 7, v. 67, 2013.

BHADESHIA, Harshad; HONEYCOMBE, Robert. **Steels: Microstructure and Properties.** 4 ed., 2017.

BROOMFIELD, John P. **Corrosion of steel in concrete. Understanding, Investigation and Repair.** 3 ed., 2023.

BENTUR, Arnon; DIAMOND, Sidney; BERKE, Neal. **Steel Corrosion in Concrete: Fundamentals and Civil Engineering Practise,** 1997.

BRUNA, Monique Gomes de Oliveira; MOURA, Paulo Rogério Garcez; DEL PINO, José Cláudio. **Corrosão em concreto: fatores aceleradores da deterioração, prevenção e reparo.** XX Seminário Institucional de ensino, pesquisa e extensão. 2015.

CARRASCO, Gessonia Leite de Andrade. **Preservação de artefatos ornamentais de ferro integrados à arquitetura - estudo de caso: cemitério do imigrante,** 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

CARDOSO, D. S.; MELO, J. A.; **Sistema de reuso de águas em uma residência multifamiliar: um estudo bibliográfico.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tira Dentes, 2020.

CASCUDO, Oswaldo Matos. **Contribuição ao Estudo e Emprego de Técnicas Eletroquímicas no Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto Armado.** 1991. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1991.

CASTELLOTE, M.; ANDRADE, C.; ALONSO, C. **Accelerated Simultaneous Determination of the Chloride Depassivation Threshold and of the Non-Stationary Diffusion Coefficient Values.** Corrosion Science, v. 44, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(02\)00060-4](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(02)00060-4).

CASTILHO, Carolina Paula de; OLIVERIA, Lúcia Helena de. **Avaliação durante operação de sistemas de água não potável em edifícios residenciais.** Ambiente Construído, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100229>.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011. **Resolução nº 430**, 13 de Maio de 2011. Ministério do Meio Ambiente, 2011.

CHIANG, C. T.; YANG, C. C. **Relation Between the Diffusion Characteristic of Concrete From Salt Ponding Test and Accelerated Chloride Migration test.** Materials Chemistry and Physics, v. 106, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.05.041>.

DHIMAN, Vishal Kumar; SINGH, Jagdeep; KANOUNGO, Abhishek; GOYAL, Ajay; SINGH, Yadvendra. **Reuse of grey water generated from high rise educational building.** v. 69, part 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.053>.

DANTAS, Paulo Ricardo; CHAVES, Maria Tatiane Leonardo; CAVALCANTE, Douglas Monteiro; ALBUQUERQUE, Walker Gomes de; MEDEIROS, Weverton Pereira de; BEZERRA, Andreza Maiara Silva. **Reúso de água cinza tratada em sistema de alagado construído com resíduos da construção civil.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento. v. 14, n. 1, 2018.

FERREIRA, Daniela de Matos. **Proposta de tratamento e reuso de águas cinza em Várzea Comprida dos Oliveiras, POMBAL-PB.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

FIGUEIREDO, E. J. P. **Avaliação do Desempenho de Revestimentos Para Proteção da Armadura Contra a Corrosão Através de Técnicas Eletroquímicas: contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, 1994.

FIOCRUZ. Desigualdades relacionadas à distribuição de água no NE. **DSSBR Promovendo a qualidade em saúde.** Disponível em: <https://dssbr.ensp.fiocruz.br/desigualdades-relacionadas-a-distribuiçao-de-agua-no-nordeste/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

FIORI, Simone; FERNANDES, Vera Maria Cartana; PIZZO, Henrique. **Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 1, 2006. DOI: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3676/2042>.

GHRAIR, Ayoup M.; AL-MASHAQBEH, O. A.; SARIREH, M. K.; AL-KOUZ, N.; FARFOURA, M.; MEGDAL, S. B. **Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes**. Ain Shams Engineering Journal, v. 9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.11.005>.

GIRI, Subhasis. **Water quality prospective in Twenty First Century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: A review**, Environmental Pollution, v. 271, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332>.

GENTIL, Vicente; CARVALHO, Ladimir José de. **Corrosão**. 7 ed. Editora LTC. 2022.

GIRÃO, Isabela Ferreira. **Caracterização da resistência à corrosão por pite do aço UNS S31803 após a soldagem**, Projeto de Pesquisa, São Bernardo do Campo, 2008.

GOMES, Antônio Gláucio de Sousa; MACHADO, Érica Cristine Medeiros Nobre; NETO João Batista de Sousa; MELO, Josandra Araújo Barreto de; NETO, José Dantas; BARBOSA, Maria de Fátima Nóbrega; GUIMARÃES, Patrícia Borba Vilar; BEZERRA, Péricles Tadeu da Costa; HOLANDA, Romildo Morant de; PEREIRA, Ronildo Alcântara; SANTOS, Suênya Freire do Monte. *In*: NETO, José Dantas. **Uso eficiente da água: aspectos teóricos e práticos**. Campina Grande, 2008.

GLASS, G. K.; HASSANEIN, A. M.; BUENFELD, N. R. **Monitoring the Passivation of Steel in Concrete Induced by Cathodic Protection**. Corrosion Science, v. 39, n. 8, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(97\)00051-6.23](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(97)00051-6.23).

HELENE, P. R. L. **Corrosão em Armaduras Para Concreto Armado São Paulo: IPT**; Pini, 1986.

HAFNER, Ana Vreni; **Conservação e reúso de água em edificações - experiências nacionais e internacionais**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

JOUKOSKI, A.; PORTELA, K. F.; BARON, O.; GARCIA, C. M.; VERGÉS, G. R.; SALES, A.; PAULA, J. F. de. **The Influence of Cement Type and Admixture on Life Span of Reinforced Concrete Utility Poles Subjected to the High Salinity Environment of Northeastern Brazil, Studied by Corrosion Potential Testing**. Cerâmica, v. 50, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132004000100003>.

KLEIN, Noelia; GÓMEZ, Enzo D.; DUFFÓ, Gustavo S.; FARINA, Silvia. B. **Effect of sulphate on the corrosion of reinforcing steel in concrete**. Construction and Building Materials, v. 354, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129214>.

KIRCHHEIM, A. P.; PASA, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; SILVA FILHO, L. C. P. **Avaliação de revestimentos de proteção do aço no controle da corrosão das armaduras em concretos brancos.** VII Congresso Latinoamericano De Patologia De La Construcción, X Congreso De Control De Calidad En La Construcción, Anais. CONPAT 2005.

LIMA, Maryangela Geimba de; LENCIONI, Julia Wippich. **A problemática da corrosão e da durabilidade das construções em ambientes agressivos – o caso do ambiente marinho urbano e das estruturas de concreto.** Simpósio Internacional de Ciências Integradas da UNAERP Campus Guarujá. 2007.

LIMA, Maryangela Geimba de. **Influência dos componentes do concreto na corrosão de armaduras.** Dissertação (Mestrado) - Curso de engenharia civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1990

LUCAS, Nelson Agostinho Pereira; **Caracterização físico-química de água cinza bruta produzida em edificação residencial e comercial da Grande Vitória - ES.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo; 2016.

MORADIAN, Masoud; SHEKARCHI, Mohammad; PARGAR, Farhad; VALIPOUR, Mahdi; BONAKDAR, Aboozar; VALIPOUR, Mahdi. **Deterioration of Concrete Caused by Complex Attack in Sewage Treatment Plant Environment** . American Society of Civil Engineers. Journal Of Performance Of Constructed Facilities. v. 26; 2012. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000189](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000189).

MALAGUTI, Vilmar dos Santos. **Reuso de água e resíduos gerados pela lavagem de caminhões betoneiras: Análise do efeito da resistência à compressão de concreto usado.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Setor de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Universidade Tecnológica Federal do Paraná., 2016.

MARCHESAN, P. R. C.; SANTAROSA, D.; CAMPAGNOLO, J. L.; FILHO, L. C. P. S.; PACHECO, A. R. **Estudo da influência da aplicação de revestimentos no controle da corrosão.** *In*: IV Congresso iberoamericano de patologia das construções e VI Congresso de controle de qualidade, 1997.

MAHASNEH, B.Z. **Assessment of replacing wastewater and treated water with tap water in making concrete mix.** Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2014.

MAY, Simone. **As águas cinzas são classificadas em claras e escuras. Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações.** Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082009-082126/pt-br.php>. Acesso: 20 set. 2023.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MENDES, Alan Cunha; **Viabilidade de um sistema de aproveitamento de águas cinzas no pavilhão de aulas do CETEC/UFRB, para fins não potáveis**. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Exatas, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2014.

MEIRA, G. R. **Agressividade Por Cloretos em Zona de Atmosfera Marinha Frente ao Problema da Corrosão em Estruturas de Concreto Armado Florianópolis**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos Com Proteção Superficial Frente a Ação Por Cloretos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

MEDEIROS JUNIOR, R. A. **Estudo da Resistividade do Concreto Para Proposta de Modelagem de Vida Útil: corrosão de armaduras devido a penetração por cloretos**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2014.

MOTTA, P. C.; FERREIRA, P. da S. F.; SOUZA, W. H. S. de; ARAÚJO, B. M. de; SANTOS A. S. P; JÚNIO, O. **Aproveitamento de águas pluviais em sistemas de refrigeração do centro cultural justiça federal do Rio de Janeiro**. Revista de Gestão Social e Ambiental, 2023. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n8-006>.

Monitor de Secas. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), de 20 Novembro de 2023.

NEVILLE, A. **Chloride attack of reinforced concrete: an overview**. Material and Structures, v. 28, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02473172>.

NIKHIL, T. R.; SUSHMA. R.; GOPINATH, S. M.; SHANTHAPPA, B. C. **Impact of Water Quality on Strength Properties of Concrete**. Indian Journal of Applied Research. v. 4, 2014.

PAULINIO, Nicolas. Seca volta a 100% das regiões do Ceará após 27 meses, revela Monitor. **Diário do Nordeste**. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/seca-volta-a-100-das-regioes-do-ceara-apos-27-meses-revela-monitor-1.3449897>. Acesso em: 19 dez. 2023.

PAGE, M. M.; PAGE, C. L.; NGALA, V. T.; ANSTICE. D. J. **Ion Chromatographic Analysis of Corrosion Inhibitors in Concrete**. Construction and Building Materials, v. 16, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00017-X).

PRODUTOS e Soluções. **Brasil Arcelor Mittal**. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/catalogos>. Acesso em: 28 ago. 2023.

PEDEFERRI, P.; POLDER, B.; BERTOLINI L.; ELSERNER, B. **Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair**. 2013.

SARICIMEN, H.; SHAMEEM, M.; BARRY, M.; IBRAHIM, M. **Testing of treated effluent for use in mixing and curing of concrete.** Research Institute, Metrology, Standards and Materials Division, P.O.Box: 1686, Dhahran 31261, Saudi Arabia, 2008.

SEDRIKS, A. J. **Corrosion of Stainless Steels**, 2^a ed., John Wiley and Sons, 1996.

SELISTRE, Sergio Leandro Chemale; BOTH, Alessandra Andrea. **A influência do fator A/C, do cobrimento e do tempo de cura na corrosão de armaduras.** In: V SALÃO DE INICIAÇÃO CINÉTICA E II FEIRA DE INICIAÇÃO CINÉTICA, 1993.

SILVA, Fernanda Giannotti da. **Estudo de Concretos de Alto Desempenho Frente à Ação de Cloretos.** Tese (Doutorado) - Curso em Ciência e Engenharia dos Materiais- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.11606/T.88.2006.tde-26072006-135429>.

SILVA, R. R.; VIOLIN, R. Y. T. **Gestão da Água em Canteiros de Obras de Construção Civil.** VIII Encontro Internacional de Produção Científica (EPCC), 2013.

SHEKARCHI, M.; YAZDIAN, M.; MEHRDADI, N. **Use of biologically treated waste water in concrete.** Kuwait Journal of Science & Engineering, 2012.

SCHMUKI, P.; BUCHLER, M; VIRTANEN, S; BOHNI,H; MULLER, R. e GAUCKLER, L. J. **Bulk Metal Oxides as a Model for the Electronic Properties of Passive Films**, Journal of the Electrochemical Society, v.142, n.10, 1995.

SEDRIKS, A. J. **Corrosion of Stainless Steels**, 2^a ed. Canadá. John Wiley and Sons. 1996.

SILVESTRO, L.; ROMANO, F. S.; MOLIN, D. C. C. **Penetração de cloretos em concretos expostos em zona de atmosfera marinha por um período de 9 anos.** Ambiente construtivo, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100496>.

OTTOSON, J.; STENSTROM, T.A. **Feacal contamination of Grey water Associated Microbial Risk.** Water Research, v.37, n. 3, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00352-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00352-4).

TRAD, Fábio. **Água, o petróleo do século XXI.** Campo Grande News, Campo Grande, 22/03/2011. Disponível em: <https://www.campograndenews.com.br/artigos/agua-o-petroleo-do-seculo-xxi>. Acesso em: 18 ago. 2023.

TORRES, Ariela da Silva. **Avaliação Da Sensibilidade Do Ensaio Caim – Corrosão Acelerada Por Imersão Modificada – Frente Ao Processo De Corrosão Em Armaduras De Concreto Armado.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil - Programa de pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2006

TRINDADE, Eduarda Carlesso Trindade. **Corrosão Acelerada por imersão modificada (Ensaio CAIM) de estruturas de concreto armado contendo cinza da casca de arroz e água da mandioca brava.** Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em engenharia. Universidade Federal do Pampa, 2013.

TREJO, D.; HALMEN, C.; REINSCHMIDT, K. **Corrosion Performance Tests for Reinforcing Steel in Concrete: technical report.** 2009.

TREJO, D.; PILLAI, R. G. **Accelerated Chloride Threshold Testing: part I - ASTM A615 and A706 reinforcement.** ACI Materials Journal, v. 100, n. 6, 2003.

VIRTANEN, S.; SCHMUKI, P.; IVES, M.B.; SPROULE, G. I.; GRAHAM, M.J. **A surface analytical and electrochemical study on the role of cerium in the chemical surface treatment of stainless steels.** Corrosion Science, v. 39, 1997.

VIEIRA, L. B. P. **Implantação de modelo sustentável para centrais dosadoras de concreto: Redução do volume de resíduos com o uso de estabilizador de pega em centrais dosadoras de concreto,** *In:* 52º Congresso Brasileiro do Concreto, 2010.

VIEIRA, F. M. P. **Contribuição ao Estudo de Corrosão de Armaduras em Concretos Armados Com Adição de Sílica Ativa.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.