



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

KAIO HENRIQUE FRUTUOSO DA FONSECA

ESTUDO DO ATAQUE POR CLORETO DE SÓDIO EM CONCRETO CONVENCIONAL

Angicos/RN
2020

KAIO HENRIQUE FRUTUOSO DA FONSECA

ESTUDO DO ATAQUE POR CLORETO DE SÓDIO EM CONCRETO CONVENCIONAL

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega, DsC

Angicos/RN

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F FONSECA, KAIO HENRIQUE FRUTUOSO DA.
676e ESTUDO DO ATAQUE POR CLORETO DE SÓDIO EM
 CONCRETO CONVENCIONA / KAIO HENRIQUE FRUTUOSO DA
 FONSECA. - 2020.
 48 f. : il.

 Orientadora: MARCILENE VIEIRA DA NÓBREGA.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

 1. Ataque químico. 2. Cloreto de sódio. 3.
Durabilidade de estruturas. 4. Ambiente Marinho.
I. NÓBREGA, MARCILENE VIEIRA DA , orient. II.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

KAIO HENRIQUE FRUTUOSO DA FONSECA

ESTUDO DO ATAQUE POR CLORETO DE SÓDIO EM CONCRETO CONVENCIONAL

Trabalho Final de Graduação
apresentado a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

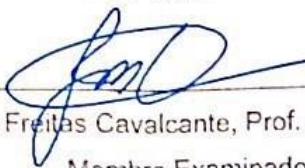
Defendida em: 05/02/2020

BANCA EXAMINADORA

Marcilene V. de Nóbrega

Marcilene Vieira da Nóbrega, Prof(a) DsC – UFERSA/ANGICOS

Orientadora / Presidente da Banca



Joselito Medeiros de Freitas Cavalcante, Prof. DsC – UFERSA/ANGICOS

Membro Examinador

Janaína Salustio da Silva

Janaína Salustio da Silva, Prof(a) Ma – UFERSA/ANGICOS

Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar minha jornada todos os dias me dando a saúde, paz e sabedoria necessárias para minha vida, me guiando, me fortalecendo nos momentos quando mais precisei na construção desse trabalho e quando eu precisar daqui em diante.

Aos meus pais, Antônio Técio da Fonseca e Luzirene Torquato Frutuoso da Fonseca pelo amor e confiança, por sempre ter me incentivado a seguir com fé e esforço, dando toda preocupação aos meus estudos e sonhos, mostrando que esse é o caminho correto.

A minha esposa, Zulenna Paula de Lacerda Cavalcante Fonseca pelo o companheirismo e compreensão durante essa minha jornada, sempre me incentivando e dando forças quando estava desmotivado, assim, contribuindo diretamente para a realização desse sonho.

A minha Irmã, Ana Karolina Frutuoso da Fonseca, pelo apoio, companheirismo, incentivo e por ter contribuído de forma direta nesse trabalho.

À minha avó Lídia Evangelista Fonseca (*in memorian*) e meu avô, Antônio Fernandes da Fonseca, e meu bisavô Avelino Barbosa dos Santos que sempre me apoiaram e confiaram em mim, por sempre terem me incentivado a seguir com fé e esforço, pois só assim eu conseguiria alcançar todos meus objetivos.

A minha orientadora Pro^a. Dr^a. Marcilene Vieira da Nóbrega, pelo apoio, incentivo para realização deste trabalho, pela paciência e empenho, por todas as sugestões dadas para qualificação e conclusão desse trabalho, onde foram fatores fundamentais para a realização desse trabalho.

A toda a família, primos, tios que direta ou indiretamente me ajudaram e torceram para que eu pudesse chegar até aqui.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por possibilitar uma formação de qualidade, com profissionais bem qualificados que não medem distância em compartilhar seus conhecimentos.

Enquanto sofria, dizia: “eu sei que o meu Redentor vive, e que com os meus olhos eu o verei” (Jó 19.25 e 26).

RESUMO

Quando o concreto armado foi desenvolvido, criou-se um dos materiais mais utilizados pela construção, seja utilizado como material constituinte de diversos elementos estruturais. Muito do sucesso da combinação entre o aço e concreto, justifica-se pelo fato das armações utilizadas para reforço não demandarem, inicialmente, tratamentos contra corrosão. Outro aspecto importante é que através da elevada alcalinidade do concreto, ocorre o favorecimento da formação de uma película de óxido estável que passiva o aço e impede a progressão da corrosão. Na prática, manifestações patológicas podem ocorrer quando há vulnerabilidades no sistema, resultantes principalmente de falhas durante a execução e na especificação do concreto. Um dos agentes mais agressivos às estruturas de concreto é o ambiente marinho, onde cloretos de sódio, por exemplo, estão em suspensão no ar. Estudar o comportamento do concreto submetido a cloretos permite os pesquisadores buscar soluções que aumentem o tempo de vida útil das estruturas contidas nesses ambientes. Partindo dessa premissa esse trabalho teve como objetivo principal realizar um estudo do concreto submetido à solução de 3% de cloreto de sódio (NaCl) sal marinho. Foi realizado acompanhamento do aspecto visual, através de registros fotográficos, dos corpos de prova ao longo do tempo, durante um período de 90 dias. Foram medidas também resistência à compressão aos 60 e 90 dias, para as resistências características de 20, 25 e 30 MPa. Foi observado que os CP's com menor resistência característica apresentou uma desagregação do material emostrou uma perda de sua resistência bem significativa.

Palavras Chave: Ataque Químico. Cloreto de Sódio. Durabilidade de estruturas.

Ambiente Marinho

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Teor máximo de cloretos sobre a massa de cimento do concreto.....	21
Tabela 2 Relação água aglomerante pelo o volume de poros	26
Tabela 3 Traço de resistência característica de 20MPa obtido através do Método ABCP ...	32
Tabela 4 Traço de resistência característica de 25MPa obtido através do Método ABCP ...	32
Tabela 5 Traço de resistência característica de 30MPa obtido através do Método ABCP ...	33
Tabela 6 Tipos de resistências dimensionados e seus resultados aos 60 dias.....	41
Tabela 7 Tipos de resistências dimensionados e seus resultados aos 90 dias.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Zona de difusão	23
Figura 2 Profundidade de penetração	24
Figura 3 Coeficiente de permeabilidade	26
Figura 4 Profundidade de penetração em relação a a/c	27
Figura 5 Camadas de profundidade	27
Figura 6 Etapas do procedimento experimental	31
Figura 7 Procedimento de pesagem dos materiais com balança BKH-300	33
Figura 8 Preparo do concreto na betoneira	34
Figura 9 Adensamento dos CP's.....	34
Figura 10 Amostras de copos de prova confeccionados	35
Figura 11 60 CP's no tanque de Cura	36
Figura 12 Corpos de prova em solução aquosa de NaCl	37
Figura 13 Corpos de prova exposto ao ar livre nas dependências do laboratório.....	37
Figura 14 Máquina de ensaio de resistência à compressão axial.....	38
Figura 15: CP's submetido ao ataque químico.....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Médias das resistências dos CP's aos 60 dias	40
Gráfico 2 Médias das resistências dos CP's aos 90 dias	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Al_2O_3 – Alumina

A/C – Água/cimento

CaCl_2 – Cloreto de cálcio

CaO – Cálcio

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ – Hidroxido de cálcio

C_2S – Silicato de bicálcio

C_3S – Silicato de tricálcico

C_3A – Aluminato de cálcio

CP's – Corpos de provas

CP – Cimento Portland

Fe_2O_3 – Óxido de ferro

K_2O – Óxido de potássio

MgO – Magnésio

NaCl – Cloreto de sódio

Na_2O – Óxido de sódio

SiO_2 – Silica

SO_3 – Óxido sulfúrico

TiO – Óxido de titânio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	14
2.1.1	Aglomerante (Cimento Portland).....	14
2.1.2	Agregados	15
2.1.3	Água de amassamento.....	17
2.2	ATAQUE por cloretos CONCRETO	18
2.2.1	Íons Cloreto – considerações gerais.....	18
2.2.2	Formas de penetração de cloretos no concreto	20
2.2.2.1	<i>Absorção Capilar</i>	21
2.2.2.2	<i>Difusão</i>	22
2.2.2.3	<i>Permeabilidade</i>	23
2.2.2.4	<i>Migração</i>	23
2.3	IMPORTÂNCIA DOS MATERIAIS NO TRANSPORTE DE CLORETOS.....	24
2.3.1	Tipo de aglomerante	24
2.3.3	Relação água/cimento	25
2.3.2	Consumo de cimento.....	28
2.3.3	Tempo de cura	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1.	MATERIAIS UTILIZADOS	29
3.1.1.	Aglomerante	29
3.1.2.	Agregados	29
3.1.3.	Água de amassamento.....	29
3.2.	CLORETO DE SÓDIO	29
3.3.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	30
3.4.	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	31
3.5.	CURA DOS CORPOS DE PROVA	35
3.6.	ATAQUE POR SOLUÇÃO DE 3% DE cloreto de sódio DURANTE 4 DIAS	36
3.7.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	38
4	RESULTADO E DISCUSSÕES.....	39
4.1.	resultados da análise visual.....	39
4.2.	resultados do ensaio de resistência à compressão axial.....	40
4.2.1.	Corpos de Prova aos 60 dias.....	40
4.2.2.	Corpos de Prova aos 90 dias.....	41
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é um dos materiais mais versáteis e de larga utilização na construção civil, com consumo mundial, segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), da ordem de 5,5 milhões de toneladas por ano. O comportamento mecânico satisfatório e relativo baixo custo, bem como a facilidade de sua execução e adequação a formas variadas, são as principais razões para o seu amplo e diversidade de uso.

Um dos aspectos importantes a se considerar no concreto armado está relacionado com a sua durabilidade que pode entendida como a capacidade de um material tem de ao ser submetido às ações de intempéries, ataques químicos, abrasão e outros processos de deterioração, mantem suas características fundamentais. Nos últimos anos, diversos trabalhos no Brasil e no exterior (ARANHA, 1994; ANDRADE, 1997; MEHTA, 1993; WAYERS, 1998; STEWART e ROSOWSKI, 1998; entre outros) vêm sendo publicados sobre manifestações patológicas em concreto e deterioração prematura de estruturas, sendo esse desgaste iniciado na superfície da estrutura.

Em um projeto estrutural é tão importante avaliar as características de durabilidade dos materiais de construção, quantos outros aspectos como propriedades mecânicas e custo. É necessário entender melhor as implicações socioeconômicas da durabilidade, pois o custo de reparo e substituição das estruturas por falhas nos materiais é considerado substancial no orçamento total da construção. Nota-se um aumento nos custos envolvendo a reposição de estruturas de acordo com seu ciclo de vida. Outro fator importante em relação a durabilidade dos materiais é sua relação próxima com a ecologia, de forma que a conservação de recursos naturais pode ser feita através da utilização de materiais duradouros (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A contaminação por ions cloreto pode se dar na própria composição do concreto, quando estes estão presentes na água ou em componentes como agregados e aditivos aceleradores de pega que contenham CaCl_2 . Ou ainda podem ser provenientes do ambiente, quando o concreto está em contato com a água do mar, poluentes industriais e produtos agressivos como ácido muriático. Os coretos são encontrados no concreto em diferentes formas, ou seja, quimicamente combinados ou como cloroaluminatos, adsorvidos fisicamente as

paredes dos poros, ou livres na solução dos poros do concreto. Mesmo que apenas os cloretos livres sejam capazes de passivar e corroer as armaduras, uma parte dos cloretos pode se tornar disponível às reações de corrosão em condições favoráveis.

De acordo com HELENEA,(1986) corrosão provocada pela ação dos íons cloretos é considerada como uma das principais causas da deterioração das estruturas, estes íons são especialmente agressivos, pois, diferente do ataque por CO_2 ou soluções ácidas, os cloretos podem danificar as armaduras mesmo em condições de alta alcalinidade da solução dos poros, visto que os tais íons não são consumidos no processo corrosivo, assim, ficando disponíveis para novas reações, desta forma, a presença das pequenas quantidades do íon pode provocar altas taxas de corrosão.

Desta forma esse trabalho tem como objetivo principal estudar a ação do cloreto de sódio em corpos de prova de concreto convencional de forma a se tentar observar como se comporta esse material diante de ataques químicos que surgem em ambientes agressivos como por exemplo o marinho. Ainda como objetivos específicos, tem-se: verificação do comportamento do concreto superficialmente considerando as idades de 60 e 90 dias, através de registros fotográficos; obtenção da resistência à compressão através do ensaio de resistência à compressão axial com o intuito de observar o comportamento do material submetido ao cloreto de sódio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No Brasil, o concreto é considerado o principal elemento utilizado nas construções, sendo um composto heterogêneo formado por cimento, água e agregados graúdos (como brita artificial) e miúdos (como areia), podendo ser adicionado outros aditivos dependendo da aplicação. Esses elementos, quando misturados, recebem o nome de dosagem e formam uma liga que poderá ser moldada, assumindo diferentes formas e possuindo diversas aplicações. O concreto pode ser fabricado de forma manual ou em betoneiras, assim como pode ser também preparado em centrais dosadoras, ou seja, em usinas centrais de concreto (COUTO et al., 2013).

É caracterizado estruturalmente por possuir alta resistência à compressão e resistência à tração baixa, em função disso incorpora-se o aço, a fim de resistir a estes esforços de tração da estrutura, formando então o conjunto chamado concreto armado (GENTIL, 2007).

Segundo Couto et al. (2013), existem três formas diferentes de utilizar o concreto como material estrutural: concreto simples sem qualquer tipo de armadura; concreto armado quando há uma armadura passiva ou não prétracionada; e concreto protendido quando há uma armadura que é ativa, prétracionada. Em se tratando de construções prediais, o concreto armado é utilizado principalmente para a confecção de lajes, vigas, fundações e pilares, garantindo uma melhor sustentação tendo em vista que o concreto e a armadura trabalham juntos e solidariamente, porém cada um com sua função equivalente.

2.1 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO

2.1.1 Aglomerante (Cimento Portland)

De acordo com Oliveira (2000) o cimento Portland é constituído fundamentalmente por cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Outros constituintes menores: impurezas, óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio (K_2O), óxido de titânio (TiO_2) e outras substâncias. A mistura destes

materiais nas proporções convenientes, finamente pulverizados e homogeneizados, é submetida à ação do calor no forno produtor de cimento, até a temperatura de fusão incipiente, resultando na obtenção do clínquer. O cimento Portland é o produto da pulverização deste clínquer.

O cimento Portland é um material aglomerante, quando em presença de água os silicatos e aluminatos de sua composição reagem e formam os produtos hidratados que, com o tempo, resultam em uma massa firme e resistente, ou seja, na pasta de cimento hidratado. Os produtos da hidratação do cimento têm solubilidade baixa, criando assim uma grande estabilidade da pasta de cimento em contato com a água (NEVILLE, 2016).

De acordo com Oliveira (2000) as propriedades químicas do cimento Portland estão diretamente ligadas ao endurecimento por hidratação. Esse processo tem início na hidrólise do silicato tricálcico (C3S), separando em silicato bicálcico (C2S) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2). O Ca(OH)_2 precipita como cristal e o C2S combina-se com a água e deposita-se na forma de gel. Em temperaturas elevadas, este processo resulta numa estrutura de natureza alcalina. O C3A e o C4AFe, últimos constituintes principais do cimento, se hidratam, resultando, do primeiro, cristais de variado conteúdo de água e, do segundo, uma fase amorfa gelatinosa.

A hidratação do cimento determina a estrutura do concreto assim como a formação e distribuição de poros no seu interior. Os poros são formados devido à evaporação do excesso de água na massa, presente em quantidade superior à necessária para realização do processo de hidratação. Por consequência é desenvolvida uma rede de poros conectados com o exterior, executando o transporte de gases, águas e substâncias agressivas dissolvidas para o interior do concreto. Os mecanismos de degradação do concreto e a corrosão das armaduras são fundamentados nessa estrutura de poros (RIBEIRO, 2014b).

2.1.2 Agregados

O agregado é um material granular, tal como brita e areia, pode ser natural ou industrializado e apresenta diversas formas e tamanhos. Este material quando misturado a um material aglomerante como o cimento e a água, promovem a formação de argamassa e concretos (SILVA, 2006).

Segundo Neville (2016), a princípio, os agregados eram considerados materiais

inertes e de baixo custo, dispersos na pasta de cimento. Porém estudos comprovam que as suas propriedades físicas, térmicas e até químicas podem influenciar no desempenho do concreto.

Os agregados, segundo Albuquerque (2000), podem ser classificados de acordo com sua origem, dimensões das partículas ou peso específico aparente.

- a) segundo a origem: naturais (areia e cascalho) ou artificiais, estando incluído neste último caso haja a necessidade de processos industriais para obter sua composição particulada
- b) conforme as dimensões das partículas: divide-se em miúdo (areias) e graúdo (cascalhos e britas);
- c) segundo o peso específico aparente: os agregados podem ser leves, médios e pesados;

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2009c) através da norma NBR 7211 determina as principais características dos agregados miúdo e graúdo:

- a) agregado miúdo: material cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150µm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010);
- b) agregado graúdo: material cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010).

A NBR NM 248 (ABNT, 2003) determina os limites estabelecidos para a determinação da distribuição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos e também apresentam o conceito de dimensão máxima característica e módulo de finura.

Segundo a mesma norma a dimensão máxima característica é uma grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Já o módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

A qualidade do agregado é de considerável importância para a fabricação do concreto, uma vez que ocupa aproximadamente três quartos do seu volume. O agregado, pode não apenas influenciar a resistência do concreto com suas propriedades, como afetar a durabilidade e performance estrutural do mesmo (NEVILLE; BROOKS, 2010).

De acordo com Albuquerque (2000) a resistência à compressão do concreto, depende do fator água/cimento, que, por sua vez, depende da distribuição granulométrica do agregado. A distribuição granulométrica deverá ser tal que permita uma mistura de máxima compacidade, compatível com a peça a concretar. A dosagem de agregados deve ser elaborada em função da menor permeabilidade do concreto. A trabalhabilidade é outra propriedade do concreto que pode ser afetada pelos agregados. A forma dos grãos e a distribuição granulométrica determinam a quantidade de água necessária para a obtenção da relação água/cimento desejada, quanto mais fino os agregados, maior o volume de água adicionado ao concreto.

Outro fator importante é a influência do agregado na durabilidade do concreto, pois pode conter produtos que reagem com o aço das armaduras, ou componentes mineralógicos, que podem reagir com o meio ambiente ou com o próprio cimento (ALBUQUERQUE, 2000). A reação álcali sílica é a denominação dada ao fenômeno de reações químicas envolvendo os álcalis e íons hidroxila da pasta de cimento Portland e certos materiais siliciosos reativos que frequentemente estão presentes nos agregados. Podem resultar na expansão e fissuração do concreto, levando à perda de resistência e do módulo de deformação (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.1.3 Água de amassamento

Isaia (2011) afirma que a água é um dos principais materiais componentes do concreto, pois opera na microestrutura das pastas cimentícias, nas reações de hidratação do cimento, propriedades reológicas, retração e fluência do concreto e nos mecanismos de transporte de fluídos, entre outros fenômenos. Enfim, a água confere ao concreto propriedades requeridas para cumprir sua função de resistência, durabilidade e de vida útil. Sob outra perspectiva, pode atuar também como agente de degradação tanto por ação física ou química.

A relação água/cimento consiste em um dos parâmetros mais importantes dos concretos do ponto de vista de sua durabilidade, pois essa relação tem influência na formação da microestrutura do concreto, forma de distribuição dos diâmetros dos poros, e é preponderante na determinação das características de compacidade ou porosidade do material em estado endurecido (SILVA, 2006, p. 37).

Silva (2006) ainda salienta a importância da relação água/cimento na determinação da porosidade da pasta de cimento endurecido em qualquer estágio da hidratação, portanto, possuindo influência também sobre o volume de vazios do concreto.

No concreto fresco, de acordo com Isaia (2011), a água atua como agente que promove a redução do atrito por meio de uma película envolvente aos grãos, fornecendo a coesão e consistência necessária para que o concreto no estado fresco possa ser produzido, transportado e colocado nas formas sem perda de homogeneidade, ou seja, mantendo trabalhabilidade sem desagregação. Já, as propriedades do concreto endurecido, podem depender direta ou indiretamente da água, tanto pelas reações de hidratação do cimento, como por suas transformações físico-químicas decorrentes como o início e fim de pega, calor de hidratação, retração, entre outras.

2.2 ATAQUE POR CLORETOS CONCRETO

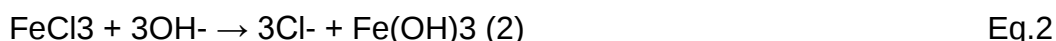
2.2.1 Íons Cloreto – considerações gerais

Os íons de cloreto podem estar presentes no concreto de diversas formas, devido incorporação durante a manufatura (como contaminante do cimento, da água de amassamento com sais, de aditivos, etc.) ou em serviço através do ingresso de íons provenientes de fontes externas. Sendo que esses podem difundir-se rapidamente através do concreto de cobrimento e atingir a armadura em um período de tempo mais curto que o correspondente à vida útil prevista para a estrutura (FREIRE, 2005).

As principais fontes externas de íons cloreto são os sais descongelantes e a

água do mar. Independentemente de sua origem externa, os cloretos penetram no concreto pelo transporte de água que contém os íons, por difusão dos íons na água ou por absorção. O ingresso repetido ou prolongado pode, com o tempo, resultar em uma elevada concentração de íons cloreto na superfície da armadura (NEVILLE, 2016).

Conforme Ribeiro e Cunha (2014a), o processo de ingresso e progressão dos cloretos no concreto pode ser explicado por ação de um mecanismo duplo, primeiro de sucção e depois de difusão. Os ânions de cloro (Cl^-) podem destruir a película passivadora proporcionada pelo meio alcalino e acelerar permanentemente a corrosão, conforme as seguintes reações demonstradas nas equações 1 e 2:



Essas reações permanecem ocorrendo sem consumir o ânion cloreto, portanto pequenas quantidades de Cl^- podem ser responsáveis por grandes processos corrosivos (RIBEIRO; CUNHA, 2014a).

Os íons cloro, que penetram no interior do concreto, são responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica do eletrólito, facilitando a corrosão das armaduras. A taxa de penetração de cloreto, através do concreto, depende de diversos fatores, como: a localização da estrutura de concreto (incluindo o microclima e a situação de contato com o cloreto), a água e o oxigênio, que são os fatores contribuintes de todo o processo de corrosão (MEDEIROS; HELENE, 2003).

Os autores Page, Short e El Tarras (1981), recomendam os seguintes limites de concentrações de cloretos no concreto, a partir do qual se produz a corrosão da armadura:

- a) baixo risco: $\text{Cl}^- < 0,4\%$, em massa de cimento;
- b) risco intermediário: $0,4\% < \text{Cl}^- < 1\%$, em massa de cimento;
- c) alto risco: $\text{Cl}^- > 1\%$, em massa de cimento;

Existem diversos fatores determinantes da velocidade e profundidade de penetração no concreto dos íons cloreto, Torres (2011) cita os principais:

- a) qualidade do cimento: a reação de C3A (aluminato tricalcio) e C4AF (aluminoferro tetracalcio) do cimento determina a capacidade de combinação com os íons cloreto. De acordo com Page, Short e Holden (1986), cimentos com pequenas

proporções destes compostos apresentam pouca capacidade de imobilizar os íons cloreto. O processo de imobilização dos íons cloreto ocorre através da formação de um sal complexo e insolúvel, cloro-aluminato de cálcio hidratado, reduzindo a concentração do agente agressivo na solução aquosa dos poros do concreto;

b) relação água/cimento, adensamento e cura: sendo estes influentes diretamente nas propriedades de porosidade e transporte no concreto e, assim, sobre a difusibilidade efetiva dos íons cloreto;

c) fissuras: a primeira região atingida pelos íons cloreto é a que contém fissuras, criando regiões anódicas, no seu interior, e regiões catódicas, fora delas. A velocidade de desenvolvimento da corrosão depende da abertura da fissura, da qualidade do concreto e da relação área catódica/anódica;

d) grau de saturação dos poros e concentração de íons cloreto. O cloreto pode se apresentar de três formas no concreto: adsorvido na superfície dos poros e sob a forma de íons-livres, quimicamente ligado ao aluminato tricálcio (C3A) e formando cloroaluminato de cálcio ou sal de Friedel ($C_3A \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$).

Por maior que seja a capacidade de um dado concreto de ligar-se quimicamente ou adsorver fisicamente íons cloreto, haverá sempre um estado de equilíbrio entre as três formas de ocorrência desses íons, de forma que sempre existirá certo teor de Cl- livre na fase líquida do concreto. Esses cloretos livres são os que efetivamente causam preocupação (CASCUDO, 1997).

Os íons cloreto podem ser transportados para o interior do concreto através dos mecanismos de: absorção capilar, difusão, permeabilidade e migração iônica (BORBA JÚNIOR, 2011).

2.2.2 Formas de penetração de cloretos no concreto

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a água é um forte agente de deterioração física e química do concreto por apresentar propriedades peculiares como a grande capacidade de penetração em cavidades e poros muito pequenos, elevada tensão superficial, maior temperatura de evaporação, a notável capacidade de dissolver substâncias como sais, ácidos e bases inorgânicas, assim como dissociar substâncias ionizáveis.

O ingresso de cloretos no concreto, além daqueles oriundos do próprio ambiente onde a estrutura está instalada, pode ocorrer sua mistura das seguintes

formas: como contaminante do cimento ou agregados; com o uso da água de amassamento, se forem utilizadas águas com sais e com aditivo acelerador de pega base de cloreto cálcio ou como sais de degelo aplicado a pavimentos.

Outra forma da introdução de cloretos seria em serviço, ou seja, durante o uso da estrutura, os íons Cl que provêm de fontes externas pode difundir rapidamente na cobertura de concreto e atingir a armadura em um período de tempo muito mais curto que corresponde a vida projetada da estrutura.

Em ambientes agressivos, a quantidade de íons Cl tende a ser incrementada gradualmente, e o mesmo pode chegar, após certo tempo, a atacar toda a superfície das armaduras das estruturas de concreto armado, podendo provocar corrosões intensas e perigosas, diminuindo gradativamente sua vida útil (ANDRADE, 1992).

A norma brasileira NBR 12655 (ABNT/2006) determina o teor máximo de cloretos sobre a massa de cimento do concreto protendido em 500mg/l(0,05%), sendo considerado a contribuição de todos os componentes de concreto, conforme mostra na Tabela 1.

Tabela 1 Teor máximo de cloretos sobre a massa de cimento do concreto

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons Cloreto (Cl-) no concreto % sobre a massa de cimento
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco protegido da umidade nas condições de serviço)	0,40
Outros tipos de construção com concreto armado	0,30

Fonte: NBR 12655 (ABNT/2006)

2.2.2.1 Absorção Capilar

A absorção capilar é um mecanismo em que os cloretos presentes em um meio líquido (névoa salina, por exemplo) penetram no concreto a partir do fluxo deste líquido, motivado pela tensão superficial atuante nos poros capilares.

Geralmente representa a primeira etapa para a contaminação por impregnação externa de estruturas de concreto e se dá na camada superficial onde ocorrem ciclos

de molhagem e secagem do cobrimento de concreto pela ação da água da chuva e umidade. O concreto seco vai sendo embebido, podendo culminar na sua saturação. Quando as condições externas são mais secas, o movimento da água inverte-se e a umidade evapora pelos poros capilares superficiais de estrutura. Porém, é a água pura que evapora, permanecendo os sais cristalizados nos poros do concreto, aumentando a concentração salina nas proximidades da superfície (PEREIRA e CINCOTTO, 2001).

De acordo com Kropp (1995), esse mecanismo depende do diâmetro dos poros, da tensão superficial do líquido, da sua densidade e da sua viscosidade. Em princípio, quanto menor o diâmetro dos poros capilares, maior a pressão, como consequência será maior a profundidade de penetração da água no concreto (ANDRADE, 2001).

2.2.2.2 *Difusão*

A difusão iônica é o mecanismo de transporte predominante dos cloretos no interior da estrutura de concreto, ocorrendo devido a gradientes de concentração que promove um deslocamento do sal para o interior. Devido à umidade relativa do ambiente e a duração do período de secagem, será possível uma maior evaporação na região mais externa, de tal forma que inteiramente o concreto se torna mais saturado, precipitando o excesso na forma de cristais. Este ciclo onde a água se desloca para fora e o sal para dentro do concreto faz com que o teor de cloretos diminua com a distância da superfície.

Para Crank (1975), os cloretos em região de maior concentração se movem para regiões de concentração mais baixa. Como resultado deste processo a concentração de cloreto decresce da superfície para o interior do concreto (CEB, Q989). Um perfil típico da concentração de cloreto ao longo do cobrimento de concreto, desde a superfície até a armadura, em uma estrutura impregnada de contaminantes da absorção na camada superficial, onde o ramo da curva é crescente desde a superfície até o limite máximo.

A concentração superficial tende a ser pequena em função da ação de lixiviação pelas águas das chuvas que ocorre nessa zona de molhagem e secagem. Na zona de difusão, a partir do ponto limite, a concentração tende a diminuir com a profundidade (CASCUDO, 1997). Como mostra na Figura 1.

Figura 1 Zona de difusão

Fonte: CASCUDO, 1997

2.2.2.3 Permeabilidade

A permeabilidade é um dos principais parâmetros de qualidade do concreto e representa a facilidade, ou dificuldade, com que dada substância transpõe dado volume de concreto (CASCUDO, 1997). Ela está relacionada diretamente com a composição do concreto e com as condições de cura especificadas para estrutura, pois quanto mais tempo houver para a hidratação dos compostos do concreto, menor a permeabilidade do mesmo (ANDRADE, 2001). Concreto com poros capilares com diâmetro maiores e, havendo intercomunicação entre eles, terão maior permeabilidade. Isto ocorre quando a relação a/c for alta, acima de 0,6.

De acordo com Guimarães (1997), geralmente a difusão pura ou a permeabilidade pura só acontecem em estruturas saturadas, onde as forças capilares não podem atuar. Já para o concreto seco ou não saturado, a sucção capilar é o fenômeno predominante.

2.2.2.4 Migração

A migração é um mecanismo que corresponde ao transporte de íons em eletrólitos, devido à ação de um campo elétrico, decorrente da aplicação de uma diferença de potencial gerada por uma fonte externa (GEIKER, 1995).

2.3 IMPORTÂNCIA DOS MATERIAIS NO TRANSPORTE DE CLORETOS

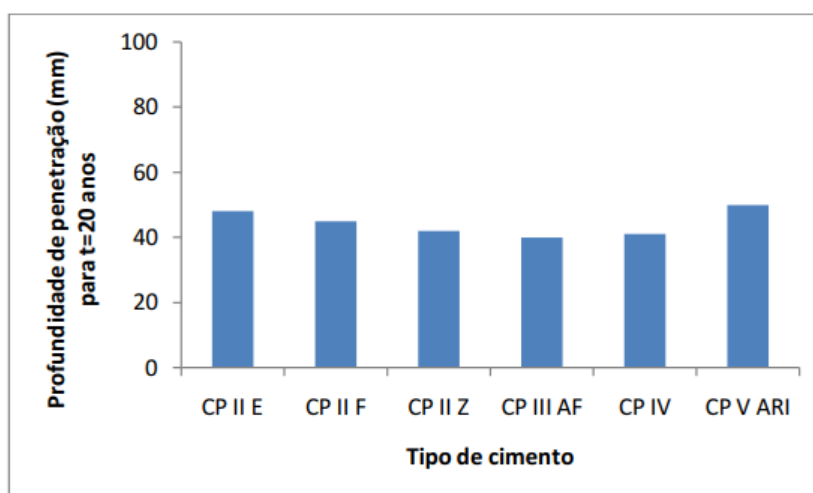
Segundo Cascudo (1997), o transporte de cloretos, bem como de várias outras substâncias agressivas dissolvidas (líquidos em geral) e de gases, no interior da matriz concreto/argamassa, é decisivamente influenciado pela estrutura porosa da pasta de cimento endurecida. Observa, portanto, a necessidade de produzir um material que seja de baixa porosidade e permeabilidade para que se obtenha uma boa durabilidade.

Considerando as características da matriz do concreto, as principais variáveis que podem interferir no transporte de cloretos são: tipo de cimento, relação água/aglomerante e consumo de aglomerante, condições de cura e presença de fissuras.

2.3.1 Tipo de aglomerante

Helene (1999) considera que a escolha do cimento mais adequado a resistir à agressividade ambiental é um aspecto que irá influenciar na maior ou menor capacidade de fixação dos cloretos, sendo que para reduzir a penetração desses íons são preferíveis os cimentos com adições tipo CP III (com escória de alto forno) e CP IV (com cinza volante). Gjorv (1995) observou que a adição de 9% de sílica ativa em substituição ao cimento Portland comum pode reduzir em cinco vezes a difusividade dos cloretos. Andrade (2001) ratifica a colocação apresentada por Helene (1999) no gráfico apresentado na Figura 2.

Figura 2 Profundidade de penetração



Fonte: Andrade (2001)

Da mesma forma, cimentos com presença de cinza volante e escória de alto forno apresentam maior proteção ao concreto em relação aos outros tipos de cimento (resistentes a sulfatos e cimento Portland comum), em virtude do melhor refinamento dos poros e aos elevados teores de C3A que possui capacidade de fixação de cloretos, formando os cloroaluminatos (PAGE et al, 1981).

Para Neville (1997), o uso de cimentos resistentes a sulfatos pode ser desvantajoso quando houver presença de íons Cl^- em concretos com armadura ou outro tipo de aço em seu interior, pois quando o concreto carbonata os cloroaluminatos, os mesmos se tornam instáveis e possibilitam que os cloretos, anteriormente fixos, sejam liberados para a solução aquosa do concreto.

Deve-se levar em conta, também, a dificuldade oferecida na movimentação dos cloretos no interior do concreto. O efeito do tipo de cimento no transporte de cloretos no interior do concreto está relacionado diretamente com sua porosidade. Uma matriz mais densa do concreto dificulta a entrada de agentes agressivos como os cloretos, bem como oxigênio e umidade.

Dal Molin (1995) afirma que pozolanas ultrafinas (como sílica ativa e cinza de casca de arroz), além do efeito químico, atuam fisicamente densificando a matriz e a zona de transição, reduzindo significativamente a penetrabilidade, aumentando a resistência mecânica do concreto.

2.3.3 Relação água/cimento

A porosidade do concreto está intimamente ligada à relação água/cimento utilizada em sua confecção, sendo a mesma, o principal parâmetro que rege a durabilidade do concreto, influenciando as propriedades de absorção capilar de água, permeabilidade por gradiente de pressão, difusividade e migração de íons cloreto (CEB,1989).

A penetração de cloretos no ambiente marítimo é fortemente influenciada pela qualidade do concreto, que está relacionada com sua estrutura porosa, que é determinada fundamentalmente pela relação água/aglomerante (COSTA e APPLETON,1999).

A relação água/cimento é o parâmetro principal que influencia a penetração de cloretos no concreto, devido ao refinamento da porosidade capilar que se obtém com baixas relações. Nesses concretos, os íons Cl^- são obrigados a se difundir por

caminhos mais tortuosos e desconectos, o que dificulta o seu ingresso para o interior do concreto (NGALA et al, 1995, apud SACILOTO, 2005).

Da mesma forma, Kropp (1995) afirma que os íons Cl^- provenientes de fontes externas penetram no concreto através da rede contínua de poros da matriz cimentante e da zona de transição pasta/agregado, além de ingressarem à estrutura através de eventuais microfissuras.

Conforme Alanis et al (1990), dependendo do fator água/aglomerante da pasta de cimento hidratada, diferentes porcentagens em volume de poros são obtidas Tabela 2.

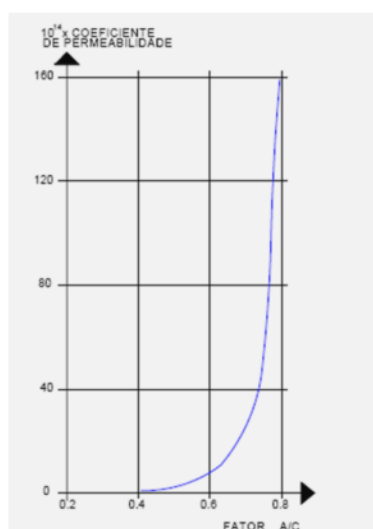
Tabela 2 Relação água aglomerante pelo o volume de poros

Relação a/agl	Volume de poros (%)
0,4	23,3
0,5	34,5
0,6	42,1
0,8	53,4

Fonte: Alanis et al (1990)

Utilizando relação água/aglomerante acima de 0,6 na confecção de concretos, há aumento significativo nos valores do coeficiente de permeabilidade, ou seja, tem-se um concreto mais poroso, como é mostrado na Figura 3 (ALVES, 2007).

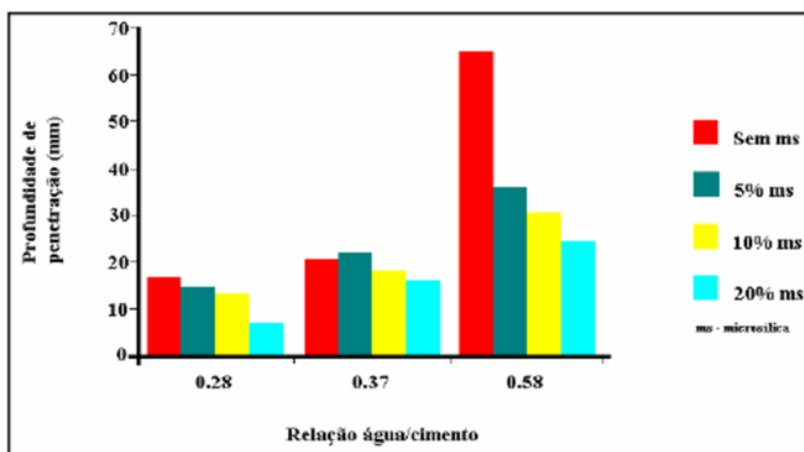
Figura 3 Coeficiente de permeabilidade



Fonte: ALVES, 2007

Wolf (1991) definiu em seu trabalho sobre ensaios com adições de microsílica que quanto menor a relação água/cimento, menor a profundidade de penetração da água conseqüentemente menor a penetração de cloretos Figura 4.

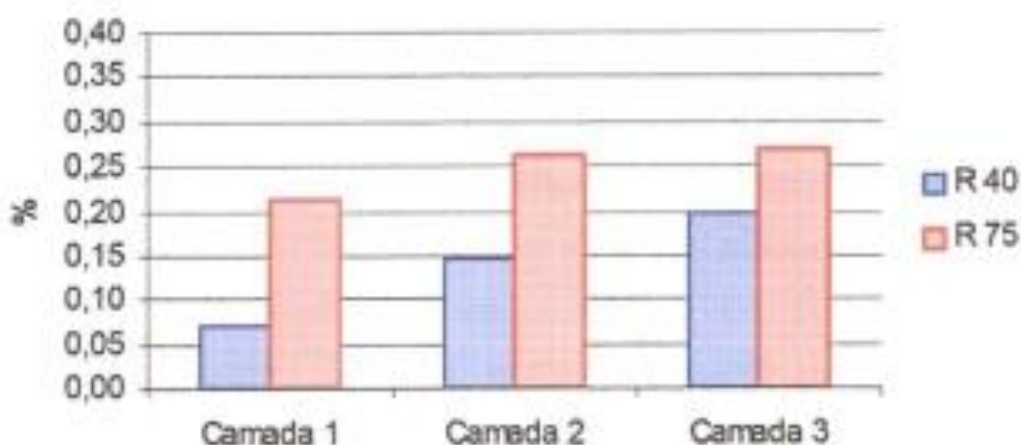
Figura 4 Profundidade de penetração em relação a a/c



Fonte: Wolf (1991)

Moreira (2004), em estudo utilizando concretos confeccionados com cimento Portland CP V-ARI, relações água/cimento 0,40 e 0,75 e realizando ensaio de penetração de Cl para análise em três camadas de profundidade (camada 1: 0 a 1 cm; camada 2: 2,5 a 3,5cm; camada 3: 5 a 6 cm), comprova que quanto menor a relação água/cimento, menor a concentração de cloretos Figura 5.

Figura 5 Camadas de profundidade



Fonte: Moreira (2004)

2.3.2 Consumo de cimento

Segundo Buenfeld e Okundi (1998), o aumento do consumo de cimento aumenta a resistência ao transporte de cloretos, aumentando a durabilidade do concreto. Ou seja, seu efeito está relacionado no maior aporte de clínquer e, conseqüentemente, maior capacidade volumétrica de fixar cloretos, conforme a quantidade de C3A. O consumo de cimento é a característica de menor influência na porosidade do concreto, sendo a relação água/aglomerante a de maior relevância (PONTES, 2006).

2.3.3 Tempo de cura

O tempo de cura empregado em estruturas de concreto é de fundamental importância para a determinação da porosidade em sua camada externa. O objetivo da cura é manter o concreto saturado, não permitindo a perda d'água até que os espaços da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchidos com água, sejam ocupados pelos produtos de hidratação do cimento (GOWRIPALAN, et al. , 1990).

Segundo Prudêncio (1987) e Ramires (1993), citados por Hoffman (2001), o período de tempo que o concreto deve ser protegido contra a perda de água depende do tipo de cimento, das proporções da mistura, da resistência desejada, do tamanho e forma da peça e das condições ambientais.

Também deve ser considerada a influência da temperatura no processo de cura, uma vez que em temperaturas mais elevadas a perda de água na pasta de cimento será maior, alterando a distribuição dos poros e gerando micro fissuras, favorecendo o ingresso de substâncias nocivas ao concreto. Estudos realizados por Galvão et al. (2002) concluem que os melhores desempenhos, quanto à durabilidade, são obtidos para as misturas preparadas a 10°C, em comparação a concretagem realizadas à temperatura ambiente e a 60°C.

Uma cura deficiente gera um concreto superficial mais poroso e menos resistente ao ingresso de NaCl.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1. Aglomerante

No processo da produção dos corpos de prova foi utilizado o cimento Portland (CP II E 32 RS). A escolha desse material foi e, função da disponibilidade na região e uns dos mais comercializados.

3.1.2. Agregados

3.1.2.1. Agregado miúdo

Na confecção dos corpos de prova foi utilizado como agregado miúdo a areia natural proveniente do Rio Piranhas Açu, comercializada no mercado local como “areia grossa”.

3.1.2.2. Agregado graúdo

Para a moldagem dos corpos de prova será utilizado agregado graúdo britado, de origem basáltica, passante na peneira com abertura 19mm.

3.1.3. Água de amassamento

Para produção dos concretos ensaiados foi utilizado água potável, proveniente da rede de abastecimento local.

3.2. CLORETO DE SÓDIO

A substância utilizada para simular o ataque químico na superfície do concreto, será obtida a partir da mistura de água potável com 3% de NaCl (sal de cozinha puro) da marca sal marinho.

3.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para dar início à pesquisa foi necessário definir qual substância seria utilizada para simular o ataque aos corpos de prova. Depois de uma breve pesquisa definiu-se que seria utilizado 3% de NaCl, nas perspectivas de tentar simular as condições de ambiente marinho.

Foi definido que serão moldados 60 corpos de prova, com 3 tipos de dosagens, os mesmos obtidos pelo método ABCP, correspondendo respectivamente a 20, 25 e 30Mpa, seguindo todas orientações recomendada e regido na ABNT 5738.

Os corpos de prova foram moldados no Laboratório de Engenharia Civil da UFRSA / Angicos. Após a moldagem, foram desmoldados depois de 24h. Em seguida, foram encaminhados para o tanque de cura úmida durante 7 dias, para que não perdesse a umidade no seu processo de cura.

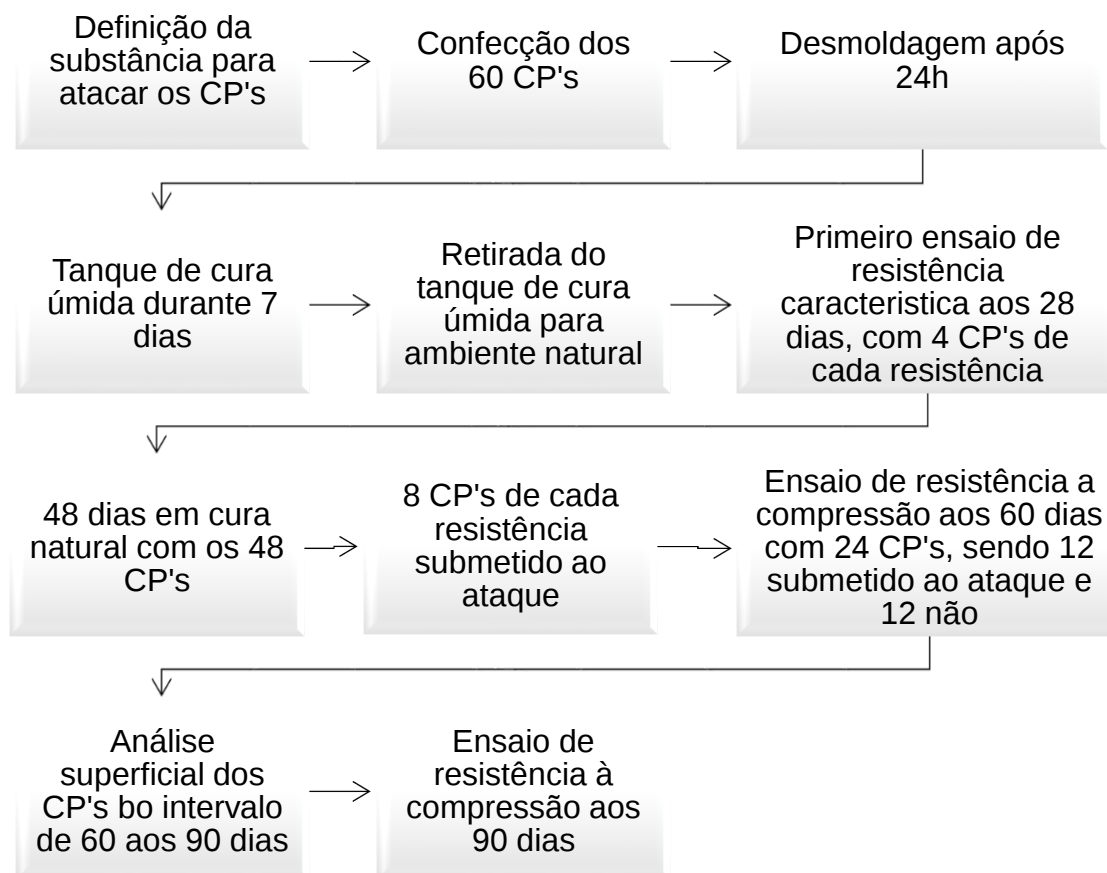
Depois do processo de cura úmida por 7 dias, as 60 amostras ficaram por 48 dias expostos ao ambiente natural de baixo teor de agressividade (dependências do Laboratório de Engenharia Civil do Campus Angicos).

Desses 60 CP's que ficaram expostos ao ar livre, foram selecionados 24 CP's, para serem submersos em solução aquosa com 3% de NaCl durante 4 dias. Após esses 4 dias de imersão, foram selecionados 12 CP's para serem submetidos ao Ensaio de Resistência à Compressão Axial, no Laboratório de Materiais do IFRN/Mossoró. Daí já haviam se passado 60 dias. Antes de romper os corpos de prova foram realizados registros fotográficos para comparar visualmente com os corpos de prova de referência. Este mesmo processo foi repetido aos 90 dias.

Foram moldados um total de 60 corpos de prova, sendo que as resistências atingidas aos 28 dias foram de 20MPa, 25 MPa e 30Mpa. Desses 60 CP's foram selecionados 24 CP's como de referência, ou seja, 20 de cada resistência atingida. Durante o procedimento 12 foram rompidos aos 28 dias para ter a definição das resistências de referência, ao passar 32 dias após o ensaio de ataque de sódio, foram rompidos 24 CP's, ou seja, 12 corpos de prova submetidos ao ataque e os outros 12 que não foram atacados, com 60 dias de idade. E outros 24 CP's que foram rompidos aos 90 dias.

Na Figura 9 tem-se o fluxograma em que essas etapas são descritas.

Figura 6 Etapas do procedimento experimental



Fonte: Autoria Própria (2020)

3.4. CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

3.4.1 Definição dos traços utilizados

Para a confecção dos corpos foi utilizado o método ABCP para o dimensionamento, ou seja, nesse processo foi pré-definido os tipos de traços que foram utilizados e quantidade necessária de material para o processo de moldagem para o ensaio. O procedimento de dosagem do concreto exige a definição de uma série de variáveis. Algumas características desejáveis iniciais são definidas inicialmente, como: a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) e a consistência. Nesse trabalho foram selecionadas três resistências características 20, 25 e 30MPa.

A resistência característica a compressão (f_{ck}), para efeito de projeto, foi estabelecida conforme a determinação do tipo de ambiente. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), adotou-se uma classe de agressividade ambiental III, considerada forte, em ambiente marinho ou industrial, com um risco grande de deterioração causada pela corrosão. Esta mesma norma, relaciona a classe de agressividade ambiental III.

A resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias (f_c), utilizando um coeficiente de segurança, foi definida conforme a equação 3.

$$f_c = f_{ck} + 1,65 \times S_d \quad (3)$$

Onde o desvio padrão de dosagem (S_d) foi considerado rigoroso igual a 4 MPa, devido ao experimento ser realizado em Laboratório; e o f_{ck} no valor de 20, 25 e 30 MPa. As outras informações necessárias para o cálculo da mistura do concreto como a massa específica dos agregados, a dimensão máxima característica do agregado graúdo e o módulo de finura do agregado miúdo, foram obtidas em ensaios no laboratório. Nas Tabelas 3, 4 e 5 estão apresentados os traços utilizados na pesquisa.

Tabela 3 - Traço de resistência característica de 20MPa obtido através do Método ABCP

TRAÇO	Composição do traço					f_{ck}
	Cimento	Areia	Brita	Água	A/C	
<i>Dosado em massa</i>	1,000	2,506	2,334	0,550	0,550	20 MPa
<i>Dosado em volume (Kg)</i>	1,000	1,694	1,610	0,550	0,550	20 MPa
<i>Dosado em volume por (Saco)</i>	1,000	84,679	80,488	27,500	0,550	20 MPa
<i>Dosado em latas de 18L</i>	1,000	4,704	4,472	1,528	0,550	20 MPa

Fonte: Autoria própria (2020)

Tabela 4 Traço de resistência característica de 25MPa obtido através do Método ABCP

TRAÇO	Composição do traço					f_{ck}
	Cimento	Areia	Brita	Água	A/C	
<i>Dosado em massa</i>	1,000	1,895	1,910	0,450	0,450	25 MPa
<i>Dosado em volume (Kg)</i>	1,000	1,281	1,317	0,450	0,450	25 MPa
<i>Dosado em volume por (Saco)</i>	1,000	64,032	65,854	22,500	0,450	25 MPa
<i>Dosado em latas de 18L</i>	1,000	3,557	3,659	1,250	0,450	25 MPa

Fonte: Autoria própria (2020)

Tabela 5 Traço de resistência característica de 30MPa obtido através do Método ABCP

TRAÇO	Composição do traço					
	Cimento	Areia	Brita	Água	A/C	fck
<i>Dosado em massa</i>	1,000	1,590	1,698	0,400	0,400	30 MPa
<i>Dosado em volume (Kg)</i>	1,000	1,074	1,710	0,400	0,400	30 MPa
<i>Dosado em volume por (Saco)</i>	1,000	53,708	58,537	20,000	0,400	30 MPa
<i>Dosado em latas de 18L</i>	1,000	2,984	3,252	1,111	0,400	30 MPa

Fonte: Autoria própria (2020)

Cabe salientar que, não foi incorporado aditivo nem adições minerais na dosagem das misturas, para evitar a introdução de outros materiais que possam gerar interferências indesejadas e incompreendidas nas leituras.

3.4.2 Preparo do concreto

Antes do preparo da massa de concreto foi realizada a pesagem do material necessário para a confecção dos corpos de prova. Foram utilizados duas Balanças sendo uma de precisão da KNWAAGEN com capacidade máxima de 5Kg e balança BALMAK modelo BKH-300 com capacidade máxima de 300Kg. Na Figura 7 tem-se detalhe para esse procedimento.

Figura 7 Procedimento de pesagem dos materiais com balança BKH-300



Fonte: Autoria própria (2020)

O preparo da massa foi realizado no Laboratório Engenharia Civil da UFERSA / Campus Angicos utilizando Betoneira da GMEG com capacidade de 120l Na Figura 8 tem-se detalhe para o preparo do concreto na betoneira.

Figura 8 Preparo do concreto na betoneira



Fonte: Autoria própria (2020)

3.4.3 Moldagem dos corpos de prova

No processo de moldagem foi seguido orientações da NBR 5738/2015. Foram utilizados os moldes cilíndricos de dimensões 10x20cm, além disso, foi utilizado o vibrador CSM de potência nominal 1600w para a compactação dos CP's, processo esse que tende a reduzir a quantidade de vazios. Na Figura 9 tem-se detalhes para o processo de adensamento dos corpos de prova.

Figura 9 Adensamento dos CP's



Fonte: Autoria própria (2020)

Foram moldados um total de 60 corpos de prova, sendo que as resistências esperadas aos 28 dias são equivalentes à de 20MPa, 25 MPa e 30Mpa. Desses 60 CP's foram selecionados 24 CP's como de referência de, ou seja, 20 de cada resistencia atingida. Durante o procedimento 12 foram rompidos aos 28 dias para ter a definição das resistências de referencia, ao passar 32 dias após o ensaio de ataque de sódio, foram rompidos 24 CP's, ou seja, 12 copos de prova submetido ao ataque e os outros 12 que não foram atacados, com 60 dias de idade. E outros 24 CP's que foram rompidos aos 90 dias. Na figura 10 tem-se detalhe para os CP's logo após a moldagem.

Figura 10 Amostras de copos de prova confeccionados



Fonte: Autoria própria (2020)

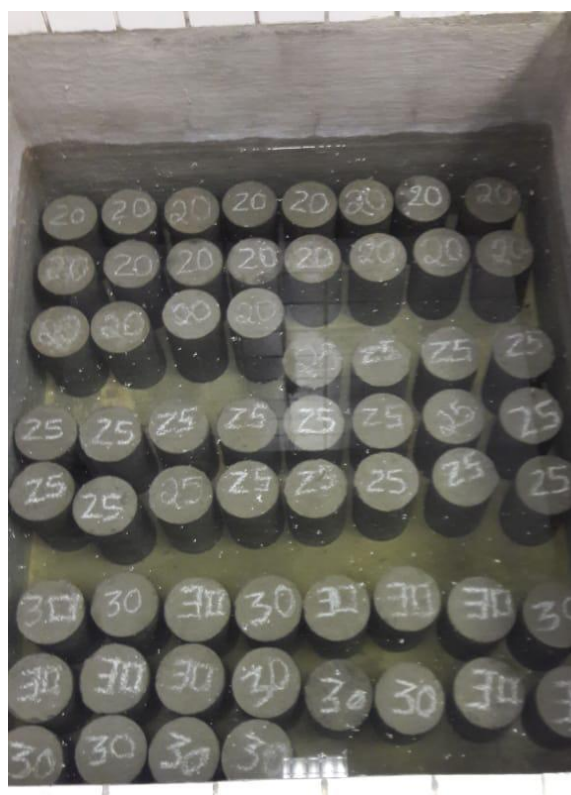
3.5. CURA DOS CORPOS DE PROVA

O processo de cura úmida no concreto é indispensável, afinal, o processo garante a hidratação adequada do cimento, fazendo com que o concreto tenha a qualidade final esperada, não tendo perda de umidade durante seu processo de cura. Isso acontece, porque o produto precisa passar por uma reação de hidratação, algo que só acontece na presença de água. A hidratação do cimento aumenta melhorando as condições de desenvolvimento da resistência e durabilidade do concreto, por isso,

é importante que a umidade seja mantida de forma constante, assim evitando o aparecimento de fissuras.

Com isso foi seguindo as orientações da NBR 5738/2015 para o tempo de 7 dias, tempo necessário para que as reações químicas no processo de cura aconteçam, a figura 11 mostra os 60 CP's no tanque de cura.

Figura 11 60 CP's no tanque de Cura



Fonte: Autoria própria (2020)

3.6. ATAQUE POR SOLUÇÃO DE 3% DE CLORETO DE SÓDIO DURANTE 4 DIAS

Para essa etapa utilizou-se a metodologia adaptada de Alves et al (2010). O ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semiárido. Foram utilizados nessa etapa 24 CP's foram submetidos ao ataque de cloreto de sódio, sendo eles com suas resistências característica de 20 MPa, 25 MPa e 30 MPa, tentando simular ambientes agressivos e compreender o comportamento do concreto nessas condições. Na Figura 12 tem-se os corpos de prova submersos em solução de 3% de NaCl.

3.7. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

O ensaio de resistência à compressão do concreto foi realizado conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Foram selecionados 12 CP's para submeter ao ensaio de compressão aos 28 dias de idade, com isso, buscou-se os CP's de referência de 20 MPa, 25 MPa e 30 MPa.

Após a retirada dos CP's cilíndricos do tanque de cura, segundo dimensões descritas 10x20cm, ficaram por 48 dias para secagem natural, em seguida, os mesmos foram submetido ao ataque químico até a realização do ensaio.

Em seguida, para tornar as faces dos corpos de prova planas e perpendiculares ao seu eixo longitudinal todos foram retificados por meio de retífica. Para determinar a resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos utilizou-se a máquina universal de ensaio, automatizado, com capacidade máxima de 200 toneladas.

Figura 14 Máquina de ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: Autoria própria (2020)

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1. RESULTADOS DA ANÁLISE VISUAL

Na Figura 15 mostra-se a sequência do processo do ataque de cloreto de sódio ao passar do tempo. Os CP's nas imagens foram os que mais sofreram superficialmente com a presença da solução de NaCl, ou seja, os CP's apresentaram uma menor resistência, pois o mesmo durante o seu dimensionamento apresentou maior relação a/c, que foram os corpos de prova de 20MPa.

Figura 15: CP's submetido ao ataque químico



Fonte: Autoria própria (2020)

O corpo de prova na sua estrutura superficial apresentou machas embranquecidas, e em alguns pontos o material desagregou (Figura 16), tendo em vista esses fatores, logo em sua ruptura obteve uma leve queda em sua resistência se comparado com os corpos de prova que não foram submetidos ao ataque.

Devido à significância deste problema, as investigações sobre o mecanismo do transporte de íons de cloreto no concreto são amplamente realizadas. Nos pontos embranquecidos que apresenta no CP's, ocorre devido ao gradiente de concentração, ou seja, a uma grande concentração de NaCl e tende a se deslocar para o interior da estrutura, fazendo com que o material comprometa sua estrutura com o passar do tempo.

Figura 16: CP após submissão à 3% de NaCl aos 75 dias



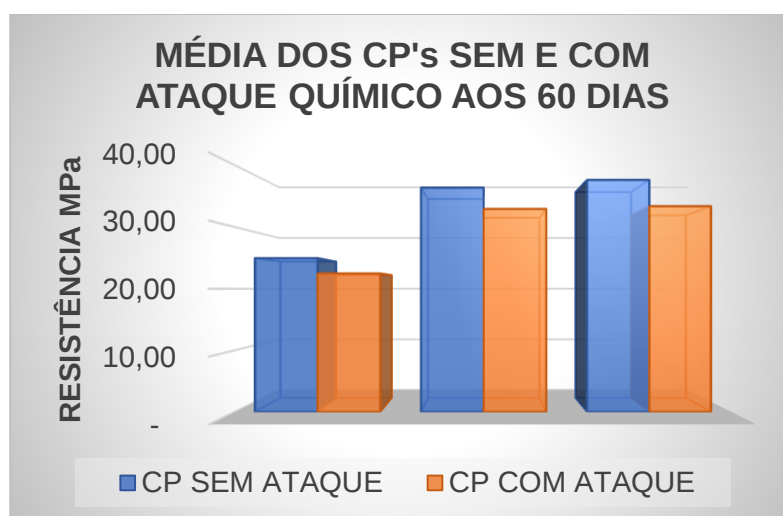
Fonte: Autoria própria (2020)

4.2. RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

4.2.1. Corpos de Prova aos 60 dias

O Gráfico 1 mostra um comparativo entre a médias aritméticas dos CP's submetidos ao ataque de cloreto de sódio e os que ficaram em ambiente não agressivo. Podemos analisar que os CP's que estavam em ambiente agressivo, tiveram pequena queda em sua resistência, já os CP's com maior resistência característica, no caso os de 25 e 30MPa obtiveram uma perda de resistência um pouco mais de 3MPa.

Gráfico 1 Médias das resistências dos CP's aos 60 dias



Fonte: Autoria própria (2020)

Com os dados apresentado, na Tabela 4, pode-se fazer um comparativo entre os CP's sem e com o ataque de NaCl, dando um foco CP's de 25MPa e visualizando as cargas de ruptura, observamos uma discrepância em sua perda de resistência.

O teor de cloreto de sódio equivalente a 3%, talvez não tenha provocado o efeito danoso a perda resistência dos CP's, pois, é uma concentração relativamente baixa. Essa perda de resistência pode ocorrer devido há reações do cloreto de sódio com compostos aluminatos da pasta (etringita e monosulfatoaluminato) que gera especialmente a formação de outros compostos sulfatados que, por sua vez, geram produtos expansivos quando reagem com a matriz cimentícia. Isso provocaria a redução de resistência mecânica.

Tabela 6 Tipos de resistências dimensionados e seus resultados aos 60 dias

ÁREA DO CP	RESISTÊNCIAS DETERMINADAS PELAS CARGAS DE RUPTURA AOS 60 DIAS					
0,00785 m ²						
DESVIO PADRÃO					7,10	
RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA	CARGA DE RUPTURA	CP - SEM ATAQUE MPa	CARGA DE RUPTURA	CP - COM ATAQUE MPa	CP - SEM ATAQUE	CP - COM ATAQUE
20 MPa	247,13 kN	31,48	176,52 kN	22,49	23,55	22,49
	166,71 kN	21,24	174,56 kN	22,48		
	190,25 kN	24,24	171,62 kN	21,86		
	179,45 kN	22,86	181,45kN	23,12		
25 MPa	305,97 kN	38,98	351,08 kN	44,72	36,73	29,48
	296,16 kN	37,73	237,32 kN	30,23		
	280,47 kN	35,73	225,55 kN	28,73		
	258,90 kN	32,98	219,67 kN	27,98		
30 MPa	317,74 kN	40,47	296,16 kN	37,73	38,11	37,12
	305,97 kN	38,98	292,24 kN	37,23		
	292,24 kN	37,23	241,25 kN	27,73		
	264,78 kN	33,73	217,71 kN	37,00		

Fonte: Autoria própria (2020)

4.2.2. Corpos de Prova aos 90 dias

A Tabela 5 exibe uma amostragem dos resultados obtidos nos testes da resistência à compressão, ou seja, são suas respectivas resistências de ruptura após 90 dias do CP's ter sido confeccionado, logo, o mesmo passou 30 dias após ter sido submerso na solução de cloreto de sódio. Nela apresenta a média aritmética das resistências e a força necessária para o corpo de prova se romper, além disso, apresenta um desvio padrão equivalente a 7,55, com isso, a valores das respectivas resistências talvez não tenha tido uma influência do teor de cloreto de sódio em sua resistência.

Tabela 7 Tipos de resistências dimensionados e seus resultados aos 90 dias

ÁREA DO CP	RESISTÊNCIAS DETERMINADAS PELAS CARGAS DE RUPTURA AOS 90 DIAS					
0,00785 m ²	7,55					
DESVIO PADRÃO						
RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA	CARGA DE RUPTURA	CP - SEM ATAQUE MPa	CARGA DE RUPTURA	CP - COM ATAQUE MPa	CP - SEM ATAQUE	CP - COM ATAQUE
20 MPa	242,85 kN	30,90	185,68 kN	23,70	28,45	22,68
	196,32 kN	25,00	170 kN	21,66		
	220,04 kN	28,00	270,78 kN	34,50		
	227,03 kN	28,90	82,63 kN	10,50		
25 MPa	196,00 kN	25,00	280,41 kN	35,70	30,85	34,75
	245,00 kN	31,20	258,56 kN	32,90		
	240,50 kN	30,50	325,42 kN	41,50		
	281,03 kN	35,80	265,34 kN	33,80		
30 MPa	297,84 kN	37,90	254,54 kN	32,40	38,55	36,00
	307,56 kN	39,20	274,69 kN	35,00		
	307,88 kN	39,20	368,34 kN	46,90		
	287,85 kN	36,70	290,49 kN	37,00		

Fonte: Autoria própria (2020)

O ingresso de íons cloreto em estruturas de concreto armado pode ocorrer de diversas formas. Concretos secos, por exemplo, quando expostos a líquidos, podem absorver os íons cloreto por força capilar. Este tipo de ingresso pode ter sua velocidade de ingresso reduzida devido à presença de compostos que cristalizam dentro dos poros ou mesmo devido à presença de poros fechados durante sua formação.

Um concreto que apresenta uma maior quantidade de vazios ou maior relação a/c, afetada diretamente em sua resistência, com isso, é notório que o CP's que foram submetidos ao ensaio ao ataque de NaCl e foram dimensionados para obter uma resistência 20MPa, obteve uma discrepância na sua perda de resistência com valores bem significativos de 11MPa comparando as medias entre os CP's que sem e com o ataque.

Gráfico 2 Médias das resistências dos CP's aos 90 dias



Fonte: Autoria própria (2020)

Já os CP's com maiores resistências apresentaram uma desenvoltura em relação ao tempo, pois os mesmos apresentam uma relação a/c menor e com isso é menos poroso.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo trouxe resultados que indicam, a relação da resistência em relação ao ataque de cloreto de sódio em relação ao tempo, indicando que mesmo com o passar do tempo, a estrutura que está sendo atacada durante 60 dias apresentou uma perda maior com relação aos 90 dias, com esse comparativo houve ganho de resistência a compressão.

Um concreto que apresenta uma maior quantidade de vazios ou maior relação a/c com o fator 0,6, afetada diretamente em sua resistência, com isso, é notório que o CP's que foram submetidos ao ensaio ao ataque de NaCl e foram dimensionados para obter uma resistência 20MPa, obteve uma discrepância na sua perda de resistência com valores bem significativos de 11MPa comparando as médias entre os CP's que sem e com o ataque.

Mas já quando os dados são comparados com os CP's que não foram submetidos ao ataque químico, os mesmos apresentam uma resistência um pouco superior com relação aos 60 dias e uma discrepância aos corpos de prova de 90 dias.

O CP's que foram dimensionado para uma maior resistência apresentou uma pequena perda, pois, os mesmos tem uma relação a/c menor, com isso, seu índice de impermeabilidade é menor fazendo com que dificulte a entrada de agentes agressivos.

Na análise superficial, os corpos de provas apresentaram traços de manchas esbranquecidas. Na superfície que não tinha regularidade, apresentou uma maior concentração. O material também obteve uma pequena desagregação ao toque, com isso, ao ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão obteve uma pequena perda em sua resistência se comparadas com os corpos de prova que não foram submetidos ao ataque de NaCl.

Ao final do trabalho e com as condições de realização do mesmo, percebeu-se que quanto maior a resistência característica, melhor foi o desempenho do concreto diante da solução de 3% de NaCl. Daí a importância de se ter cuidado com o procedimento de dosagem de concreto que irá compor as estruturas em ambientes marinhos.

REFERÊNCIAS

- ALANIS, I. L. et al. **Corrosión y protección Del acero en el hormigón armado**. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 1990
- ALBUQUERQUE, A. S. de. **Materiais de construção**, In: BAUER, L. A. F. Agregados. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. p. 63-120.
- ALVES, A. M. C. **Contribuição à análise da perspectiva de vida útil de estruturas em concreto face ao teor de cloreto registrado em Maceió-AL**. Dissertação de mestrado. Centro de Tecnologia – CTEC. Departamento de Engenharia Estrutural. Universidade federal de Alagoas, 2007
- ANDRADE, J. J. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Porto Alegre, 1996.
- ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**, 1ª Edição Ed. Pini – São Paulo, 1992. .
- ANDRADE, C. **Procesos de corrosión em el hormigón y métodos modernos de cálculo de la carbonatación, penetración de cloretos y propagación de la corrosión**. In: Curso de Estudios Mayores de La Corrosión (CEMCO), 15, 2001, Madrid. Seminário sobre Durabilidad Del hormigón e evaluación de estructuras corroídas. Madrid: IETcc, abr. 2001.
- ASTM C 125. **Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates**. In:... Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:2006. Concreto de cimento Portland. Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2015. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova Procedimento**. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2003: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**.
- ARANHA, P. M. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região Amazônica**. Porto Alegre, 1994.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras de concreto**. São Paulo: Pini, Universidade Federal de Goiás, 1997.

COSTA, A.; APPLETON, J. **Chloride penetration into concrete in marine environment – part II: prediction of long term chloride penetration**. Materials and Structures, v.32, p. 354-359, 1999.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA; R. C. A. **O concreto como material de construção**. Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas. Sergipe, 2013.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2ª Edição, Oxford: Oxford University Press, 1975.

DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adição de microssílica**. Tese de Doutorado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

GALVÃO, J. C. A. et al. **Desempenho elétrico e mecânico de concretos fabricados sob diferentes temperaturas de mistura e condições de cura: estudo preliminar**. In: 44 Congresso Brasileiro do Concreto, 2002, Belo Horizonte. Anais 44 Congresso Brasileiro do Concreto, 2002.

GEIKER, M. et al. **Performance criteria for concrete durability (report 12 – RILEM)**. Laboratory test methods. In: KROPP, J. HILSDORF, H. K. London: E & FN Spon, 1995.

GOWRIPALAN, N. et al. **Effect of curing on durability**. Concrete International, v.12, n.2, p.47-54, 1990.

GUIMARÃES, A. T. C. **Desempenho do concreto em ambiente marítimo na região do extremo sul do Brasil. Rio Grande**. Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade do Rio Grande, Engenharia Oceânica, 1997.

GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HELENE, P.R.L. **Corrosão das armaduras em concreto armado**. São Paulo, PINI, 1986.

HELENE, P. R. L. **Contribuição do estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 1993.

HELENE, P. R. L. **Vida útil das estruturas de concreto**. In: IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade. Anais. Porto Alegre, v.1, p. 1-30, 1997.

HELENE, P. R. L. **Vida útil das estruturas de concreto**. In: International Conference on High-Performance Concrete and Performance and Quality of Concrete Structures. Proceedings CD Room. Gramado, 1999.

HOFFMANN, A. T. **Influência de adição de sílica ativa, relação água/aglomerante, temperatura e tempo de cura no coeficiente de difusão de cloretos em concretos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001

ISAIA, G. C. **A água no concreto**, In: _____. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011.

KRÖPP, J. et al. **Transport mechanisms and definitions**. In: KRÖPP, J.; HILSDORF, H. K. Performance criteria for concrete durability (report 12 – RILEM). London: E & FN Spon, 1995

LIMA, M. G. de. **Ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto**, In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. Tradutora Cristina Borba. São Paulo: Ibracon, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. Tradutora Cristina Borba. São Paulo: Ibracon, 2014.

MIDGLEY, H.; ILLSTON, J. M. **The penetration of chlorides into hardened cement pastes**. Cement and Concrete Research, v.14, n.4, p.546-58, 1984.

MOREIRA, B. P. **Estudo da penetração de cloretos na camada de cobrimento do concreto com altos teores de cinza volante**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Ed. Pini, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, H. M. de. **Materiais de construção**, In: BAUER, L. A. F. Cimento Portland.

5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

PEREIRA, V. G. A. **Avaliação do coeficiente de difusão de cloretos em concretos: Influência do tipo de cimento, da relação a/c, da temperatura e do tempo de cura.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

PEREIRA, L. F. L. C.; CINCOTTO, M. A. **Determinação de Cloretos em Concreto de Cimentos Portland: Influência do tipo de Cimento.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PONTES, R. B. **Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife – PE.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, 2006. no

PORTELLA, K. F. et al. **Avaliação da degradação, corrosão e sistemas de impermeabilização de estruturas de concreto armado.** Relatório final de projeto. Relatório Técnico. LACTEC, Curitiba, 2001.

REPETTE, W. L. **Modelo de previsão de vida útil de revestimentos de proteção da superfície do concreto em meios de elevada agressividade.** 1997.

RIBEIRO, D. V. **Estrutura dos poros e mecanismos de transporte no concreto, In: Corrosão em estruturas de concreto armado.** 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014b.

SACIOTO, A. P. **Comportamento frente à ação de cloretos de concretos compostos com adições minerais submetidos a diferentes períodos de cura.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SILVA, D. R da. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade.** 2006. 194 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

STEWART, M. G.; ROSOWSKI, D. V. **Time-dependent reliability of deteriorating reinforced concrete bridge decks.** Structural Safety, 1998.

VAN DAVEER, J. R. **Techniques for evaluating reinforced concrete bridge decks.** Journal of the American Concrete Institute, v. 72, n. 12, p. 697-704, Dec. 1975.

VIEIRA, F. M. P. **Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concretos com adição de sílica ativa.** Tese de doutorado. Escola de Engenharia.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

WAYERS, R. E. **Serve life model for concrete structures in chloride laden environments**. ACI Materials Journal, 1998.

WHITING, D. A, NAGI, M. A. **Manual on Control of Air Content in Concrete, National Ready Mixed Concrete Association and Portland Cement Association**, 1998, 42 pages. Disponível em < http://www.cement.org/pdf_files/EB116.pdf>. Acesso em 23 de junho de 2006.

WOLF, J. **Estudo Sobre a Durabilidade de Concretos de Alta Resistência com Adições de Microssílica**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.