



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**ELOISA DE SOUZA DE OLIVEIRA**  
**ISADORA SOUZA DE MEDEIROS**

**INVESTIGAÇÃO DA RELAÇÃO VIDA ÚTIL E A DURABILIDADE DAS  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO FRENTE ÀS PRÁTICAS  
EMPREGADAS NO MERCADO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

**Tubarão**  
**2019**

**ELOISA DE SOUZA DE OLIVEIRA  
ISADORA SOUZA DE MEDEIROS**

**INVESTIGAÇÃO DA RELAÇÃO VIDA ÚTIL E A DURABILIDADE DAS  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO FRENTE ÀS PRÁTICAS  
EMPREGADAS NO MERCADO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial  
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Rennan Medeiros

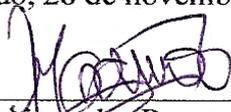
Tubarão  
2019

**ELOISA DE SOUZA DE OLIVEIRA  
ISADORA SOUZA DE MEDEIROS**

**INVESTIGAÇÃO DA RELAÇÃO VIDA ÚTIL E A DURABILIDADE DAS  
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO FRENTE ÀS PRÁTICAS  
EMPREGADAS NO MERCADO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

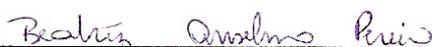
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 28 de novembro de 2019.



---

Professor e orientador Rennan Medeiros, Msc.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Prof.<sup>a</sup> Beatriz Anselmo Pereira, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Prof. Mauricio Alberto Büchele Motta, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a nossa família, em especial aos nossos pais por nos apoiarem e não medirem esforços para que esse sonho se tornasse realidade.

Ao professor Rennan Medeiros pela sua excelente orientação na elaboração desse trabalho, demonstrando paciência, dedicação e contribuindo durante todo o ano, sendo assim, de suma importância.

A todos os colaboradores do laboratório de Engenharia Civil, em especial ao André Mello e Pedro Zapelini pelo auxílio na realização dos ensaios.

A todas as construtoras que nos acolheram e reservaram um minuto do seu tempo para responder os questionários.

Aos nossos amigos e colegas do curso que fizeram parte da nossa formação, dividindo momentos de descontração, estudos, experiências e conquistas.

Ao Vitor Bianchini pelo incentivo, compreensão e parceria.

Por fim, somos gratas por todos que de alguma forma, direta ou indiretamente participaram da nossa trajetória acadêmica.

“A única coisa que sabemos sobre o futuro é que ele será diferente”  
(Peter Ferdinand Drucker).

## RESUMO

A durabilidade das estruturas de concreto é uma propriedade relativamente nova para as especificações em projetos no Brasil. Assim, esta pesquisa teve como objetivo investigar a vida útil e durabilidade do concreto armado, das especificações das normas de projeto frente às práticas empregadas no mercado para produção de concreto. Para isso, foi estruturada uma investigação em duas etapas, na primeira foram elaborados questionários específicos para as construtoras e para as Centrais Dosadoras de Concreto (CDC). Na segunda etapa foi realizado um programa experimental, onde foram produzidos concretos para as 4 classes de agressividade da NBR 6118 e realizados ensaios de carbonatação e penetração de cloretos, ambos acelerados, tendo uma previsão de vida útil por modelos matemáticos consagrados. Com os resultados da etapa 1, pode-se perceber a necessidade da conscientização dos *comprados de concreto*, dos projetistas e dos produtores de concreto. Uma vez que há falhas de conceitos empregados em todas as partes. Através dos ensaios realizados foi possível identificar a necessidade de ajuste nos parâmetros estabelecidos pela NBR 6118 e suas citadas, visto que os resultados dos ensaios de durabilidade mostraram que os concretos dosados pelos níveis de resistência não atendem o mínimo de 50 anos da NBR 15575 (ABNT, 2013). Em relação às normas brasileiras de projetos e execução de estrutura de concreto, e produção e controle de concreto para estruturas, percebe-se a necessidade de trazer em seus textos futuros ensaios e parâmetros de vida útil.

Palavras-chave: Durabilidade. Vida útil. Estruturas de concreto.

## ABSTRACT

Durability of concrete structures is a relatively new property for design specifications in Brazil. Thus, this research aimed to investigate the life and durability of reinforced concrete, from the specifications of the design standards against the practices employed in the market for concrete production. For this, a two-step investigation was structured, in the first one specific questionnaires were elaborated for the construction companies and for the Central Mix Concrete (CMC). In the second stage an experimental program was carried out, where concrete was produced for the 4 aggressiveness classes of NBR 6118 and carbonation tests were performed and chloride penetration, both accelerated, having a life expectancy by established mathematical models. With the results of step 1, it is possible to realize the need for awareness of the *purchased concrete*, designers and concrete producers. Since there are flaws in concepts employed everywhere. Through the tests performed it was possible to identify the need to adjust the parameters established by NBR 6118 and its cited, since the results of the durability tests showed that concretes dosed by strength levels do not meet the minimum of 50 years of NBR 15575 (ABNT, 2013). Regarding the Brazilian standards of design and execution of concrete structure, and production and control of concrete for structures, it is necessary to bring in their texts future tests and life parameters.

Keywords: Durability. Lifespan. Concrete structures.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama da conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão das armaduras.....	23
Figura 2 – Representação da evolução dos custos em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção é feita.....	28
Figura 3 – Desempenho com e sem manutenção.....	43
Figura 4 – Organograma principal da pesquisa.....	45
Figura 5 – Questionários aplicados nas construtoras.....	46
Figura 6 – Questionários aplicado nas CDC.....	47
Figura 7 – Corpos de prova moldados e desmoldados.....	48
Figura 8 – Câmara utilizada para realização dos ensaios de carbonatação acelerada.....	52
Figura 9 – Rompimento à compressão diametral dos corpos de prova para determinação da penetração de cloreto e de CO <sub>2</sub> .....	53
Figura 10 – Corpos de prova após aplicação da fenolftaleína. a) Traço 1. b) Traço 2. c) Traço 3. d) Traço 4.....	53
Figura 11 – Corpos de prova acoplados no cano PVC ligados no aparato elétrico.....	54
Figura 12 – Amostras após aplicação do nitrato de prata. a) Traço 1. b) Traço 2. c) Traço 3. d) Traço 4.....	55
Figura 13 – Respostas das construtoras. a) Quais os parâmetros exigidos para a compra do concreto? b) O pedido do concreto é realizado em função da resistência e/ou durabilidade? c) É realizado algum controle tecnológico da durabilidade do concreto, qual? d) No projeto está especificado a durabilidade do concreto? e) Quais os ensaios realizados antes da concretagem? f) Como é garantido o cobrimento das armaduras? g) Na sua opinião o controle de durabilidade do concreto é necessário? h) Você tem conhecimento sobre as exigências da NBR 6118? ....	57
Figura 14 – Respostas das CDC. a) Quais os parâmetros que os clientes solicitam no pedido do concreto? b) O estudo de dosagem é realizado em função da? c) Qual a dispersão dos níveis de resistência? Mais que 2Mpa de desvio padrão? d) Qual o controle tecnológico da durabilidade do concreto? e) Quais os materiais utilizados na fabricação do concreto? f) Qual o consumo de cimento utilizado para cada nível de resistência do concreto? g) Com base na pergunta anterior o consumo de cimento atende a NBR 6118? h) Como é realizado o controle e garantia da qualidade do concreto? i) Na sua opinião o controle de durabilidade do concreto é necessário? .....	59
Figura 15 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão.....	61

Figura 16 – Resultados do ensaio de penetração dos cloretos.....	62
Figura 17 – Frente de carbonatação pelos ensaios acelerados.....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vida útil de projeto (VUP) para os níveis mínimo, intermediário e superior.....	24
Tabela 2 – Vida útil de projeto recomendada por várias normas .....	25
Tabela 3 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal da armadura.....	35
Tabela 4 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto .....	35
Tabela 5 – Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição.....	36
Tabela 6 – Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos.....	36
Tabela 7 – Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto.....	37
Tabela 8 – Especificações para atender VUP de 100 anos em elementos de concreto armado ou protendido.....	37
Tabela 9 – Classificação ACEC para solos naturais.....	38
Tabela 10 – Classe DC e número de APM para elementos de concreto situados em zonas onde o gradiente hidráulico menor ou igual a 5: concreto para uso geral <i>in situ</i> .....	39
Tabela 11 – Qualidade do concreto para resistência ao ataque químico: concreto para uso geral <i>in situ</i> .....	40
Tabela 12 – Classificação da resistência dos concretos frente ao risco de corrosão de armaduras .....	40
Tabela 13 – Classificação da resistência dos concretos frente ao risco de deterioração por lixiviação ou por formação de compostos expansivos .....	41
Tabela 14 – Proporcionamento dos materiais para confecção de 1 m <sup>3</sup> de concreto. a) traço em massa. b) traço em volume. c) Propriedades tecnológicas do concreto .....	50
Tabela 15 – Relação dos fatores água/cimento necessários para atender às resistências das classes de agressividade estabelecidas pela NBR 6118.....	62
Tabela 16 – Previsão do ingresso de cloreto através do coeficiente de penetração de cloreto para o a/c estabelecido pela NBR 6118 (concreto produzido) .....	63
Tabela 17 – Previsão do ingresso de cloreto através do coeficiente de penetração de cloreto para o a/c efetivo .....	63
Tabela 18 – Previsão do ingresso de cloreto através do coeficiente de penetração de CO <sub>2</sub> para o a/c efetivo .....	64
Tabela 19 – Previsão do ingresso de cloreto através do coeficiente de penetração de CO <sub>2</sub> para o a/c efetivo .....	65

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Categoria de vida útil de projeto para partes do edifício .....	25
Quadro 2 – Gastos com manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos .....	28
Quadro 3 – Principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado .....	30
Quadro 4 - Classificação de agressividade ambiental .....	35
Quadro 5 – Efeito das falhas no desempenho.....	42
Quadro 6 – Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil.....	43

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACI – Aliança cooperativa internacional  
ASTM – American Society for Testing and Materials  
BRE – Business Rules Engin  
BS – British Standard  
CA – Componentes e elementos estruturais de concreto armado  
CaCO<sub>3</sub> – Carbonato de Cálcio  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
CP – Cimento Portland  
CP – Componentes e elementos estruturais de concreto protendido  
CREA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia  
DS – Design Class  
FIB – Fédération internationale du béton  
H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – Ácido carbônico  
IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia  
IBRACON – Instituto dos Auditores Independentes do Brasil  
CDC – Concreto Dosado em Central  
ISO – Organização Internacional para Padronização  
Mpa – Unidade de medida de pressão  
NaCl – Cloreto de sódio  
NaOH – Hidróxido de sódio  
NBR – Norma técnica  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PVC – Policloreto de vinila  
SO<sub>4</sub> – Sulfato solúvel em água  
UR Umidade relativa  
VU – Vida útil  
VUP – Vida útil de Projeto

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\gamma_f$  – Coeficiente de segurança

$k$  – Coeficiente de aceleração

$T_{ea}$  – Taxa de degradação pelo ensaio acelerado

$T_{cr}$  – Taxa de degradação em condições reais

$V$  – Volts

$x$  – Profundidade atingida por um determinado teor de cloretos no tempo  $t$  (m)

$t$  – Tempo (s)

$k_{Cl}$  – Coeficiente de penetração de cloretos ( $m \cdot s^{-1/2}$ )

$k_{CO_2}$  – Coeficiente de carbonatação ( $m \cdot s^{-1/2}$ )

## LISTA DE EQUAÇÕES

(Equação 1) - Correção de adição de água .....	49
(Equação 2) - Determinar um coeficiente de aceleração .....	51
(Equação 3) - Determinar a vida útil das estruturas de concreto.....	56

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	18
1.2	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA .....	20
1.3	OBJETIVOS .....	21
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>22</b>
2.1	VIDA ÚTIL .....	22
2.2	DURABILIDADE .....	26
2.3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	29
<b>2.3.1</b>	<b>Mecanismos de deterioração das estruturas.....</b>	<b>30</b>
2.4	ANÁLISE DAS NORMAS .....	33
<b>2.4.1</b>	<b>Normas brasileiras .....</b>	<b>33</b>
2.4.1.1	Classificação de agressividade ambiental .....	34
<b>2.4.2</b>	<b>Normas internacionais .....</b>	<b>37</b>
2.5	MANUTENÇÃO/INSPEÇÃO .....	42
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA .....</b>	<b>45</b>
3.1	PROGRAMA DE PESQUISA .....	45
<b>3.1.1</b>	<b>Etapa 1.....</b>	<b>46</b>
3.1.1.1	Questionários.....	46
<b>3.1.2</b>	<b>Etapa 2.....</b>	<b>47</b>
3.1.2.1	Materiais .....	48
3.1.2.2	Processo de produção do concreto .....	48
3.1.2.3	Ensaio de carbonatação .....	50
3.1.2.4	Ensaio de penetração dos cloretos.....	54
3.1.2.5	Previsão de vida útil .....	55
3.1.2.5.1	<i>Método de previsão de vida útil com base em ensaios acelerados .....</i>	<i>56</i>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>57</b>
4.1	RESULTADOS ETAPA 1.....	57
<b>4.1.1</b>	<b>Respostas construtoras .....</b>	<b>57</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Respostas CDC .....</b>	<b>59</b>
4.2	RESULTADOS ETAPA 2.....	61

<b>4.2.1 Resultados dos ensaios de compressão axial .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.2 Resultados ensaio de penetração de cloretos .....</b>	<b>62</b>
<b>4.2.3 Resultados ensaio de carbonatação .....</b>	<b>64</b>
<b>4.3 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES .....</b>	<b>65</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Diante da velocidade do avanço do mercado nas últimas décadas, destacando-se as estruturas de concreto, as atividades não acompanham o crescimento da construção civil. Com pouco conhecimento e divulgação das práticas adequadas, foram adotadas técnicas não tão aprimoradas e, acarretando em prejuízos à durabilidade das obras reduzindo sua vida útil.

Um projeto bem executado deve garantir segurança e desempenho satisfatório. Dessa forma, toda construção tem que ser planejada e estabelecida em projeto sua vida útil, o que muito se confunde com a durabilidade ou até mesmo com prazo de garantia. As normas de desempenho NBR 15575 e de projeto de estruturas de concreto NBR 6118 (ABNT, 2013; 2014) esclarecem esses termos, sendo a vida útil o intervalo de tempo em que a construção ficará em uso sem a necessidade de uma grande intervenção, e durabilidade o mecanismo necessário para atender a vida útil especificada.

Para o método de avaliação da durabilidade das estruturas utilizam-se os requisitos estabelecidos nas normas brasileiras; e na inexistência da mesma, utilizam-se as normas internacionais.

São critérios de desempenho, requisitos e durabilidade que limitam a degradação dos materiais, quando são sujeitos a ensaios que possibilitam aos agentes agressivos a aceleração de sua atuação sobre a estrutura. Buscando assim impedir a utilização de detalhes construtivos e materiais físico-quimicamente que possam diminuir a vida útil de seus elementos (ROQUE, 2003).

Assim como a corrosão, falha na execução de projetos e grande índice de porosidade, são alguns fatores que influenciam na vida útil de estruturas de concreto, facilitando a entrada de substâncias prejudiciais, tornando a estrutura apta para receber ataques de agentes externos.

Nesse sentido, para melhoria da qualidade das obras é necessário buscar o desenvolvimento de novas tecnologias, novos processos construtivos e materiais de construção de qualidade que associados às exigências competitivas do setor, conduzem a construção de edificações cada vez mais bonitas e economicamente atrativas para investidores.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Através dos avanços na ciência e na tecnologia dos materiais, vem-se preocupando cada vez mais em construir edificações com potencial elevado de durabilidade, na execução dos

projetos e mão de obra qualificada, buscando preocupação também em manutenções e cuidados na utilização dessas edificações. Em relação à mão de obra na construção civil, existem limitações que, direta ou indiretamente acarretam em obstáculos no andamento e nos resultados das obras. Isso porque não há um treinamento específico para se começar a atuar nesse setor, sendo assim, a qualificação dos operários não é sempre a mais adequada. Este fato faz com que se tenha erros na interpretação dos projetos e manuais dos materiais, ocasionando dificuldades na preparação e aplicação dos mesmos. Dal Molin (1988), chama a atenção para problema semelhante, salientando que a falta de qualificação da mão de obra tem contribuído para o agravamento dos problemas patológicos na construção civil.

É público e notório que, o possível desconhecimento por parte dos profissionais da área quanto aos materiais empregados na execução do concreto poderá gerar menor durabilidade das construções, propiciando a existência de enganos que contribuem de maneira acentuada ao aparecimento das manifestações patológicas, levando à deterioração de prédios em fases recentes de vida útil no início de seus usos ou ocupações.

Conforme Perez (1986), os detalhes construtivos destinados a deslocarem águas das fachadas são exemplos, que passaram por processo de supressão, com consequências desastrosas para a durabilidade e estanqueidade das edificações.

A lei nº. 8666/93, que introduz normas para licitações e contratos na administração pública, pode estar contribuindo para o comprometimento de desempenho das edificações, da sua durabilidade e componentes. O critério de seleções de propostas mais vantajosas levando o menor preço, faz com que as construtoras apresentem propostas com preços muito baixos, inviabilizando o cumprimento dos pré-requisitos mínimos dos projetos e edificações, comprometendo a durabilidade e qualidade das edificações, além de, em alguns casos, a segurança dos usuários.

Alguns casos de desabamentos chocaram o Brasil. Agência Brasil declara que no Rio de Janeiro um desses casos foi o Edifício Residencial Palace II, na Barra da Tijuca, em razão de uma coluna de um apartamento, na madrugada de 22 de fevereiro de 1998. O laudo técnico apontou erros de cálculo na construção do prédio e uso de materiais de construção de baixa qualidade, e detectaram pedaços de madeira, sacos de cimento, jornal e plástico junto ao concreto de pilares. Ainda no Rio Terra serviços publica que em 30 de outubro de 2010, ocorreu um desabamento em um prédio de três andares, onde moradores relataram que horas antes o prédio apresentou rachaduras, seguidas por estalos na estrutura do prédio.

Outro caso foi o Edifício Real Class em Belém, que se situava entre as avenidas Governador José Malcher e Magalhães Barata, desabou no dia 29 de janeiro de 2011. G1 mostra

que de acordo com as provas colhidas, foi concluído que o desabamento foi por falha na concepção do sistema estrutural projetado, onde o modelo matemático escolhido foi um modelo que não foi capaz de garantir a estabilidade para uma edificação de 34 pavimentos e de aproximadamente 104 metros de altura. O Juiz explica também que ao utilizar o modelo pórtico por pavimento, o engenheiro não considerou as cargas horizontais, nem as decorrentes da ação do vento e do peso próprio, não resistindo a um vento de certa de 30 a 39 km/hora.

Em Minas Gerais Terra serviço publicou que em 7 de janeiro de 2011 ocorreu uma queda de uma torre de alta tensão de 70 m de altura em Belo Horizonte, a torre cedeu durante um teste de energia. E G1 publicou também que em 3 de junho de 2014 ocorreu o desabamento do Viaduto dos Guararapes assim que os operários retiraram parte das escoras, caindo uma alça em cima de automóveis. As investigações feitas pela Polícia Civil concluíram erro de cálculo e desprezo às normas mínimas de segurança, faltando ferragens nas estruturas que sustentavam o viaduto.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

A evolução das edificações é de extrema importância em todas as atividades nos dias de hoje e está presente em atividades comerciais, industriais ou para seu uso residencial. Quando um usuário adquire um imóvel ele acredita que o mesmo deve durar para sempre, mas na realidade das construções, esse termo não se aplica.

Em julho de 2013 foi publicada a norma brasileira de desempenho para edificações habitacionais até cinco pavimentos - NBR 15575 (ABNT, 2013) que trata de conceitos imobiliários como, vida útil e vida útil de projeto. A partir desse momento os projetistas, construtores e usuários passaram a ter responsabilidade sobre a edificação para que a vida útil da mesma seja atendida.

Em 2003 na revisão da NBR 6118 foi consolidada uma preocupação com a durabilidade das estruturas de concreto, e em 2014 na última revisão da norma, obteve-se uma atenção extra na durabilidade das estruturas.

Entretanto, as especificações destas normas quanto à durabilidade das estruturas ainda contêm pontos questionáveis e complicados de serem controlados na fase de execução, além da falta de conceito dos profissionais que atuam com projeto e execução de estruturas de concreto.

Dessa forma, mesmo com métodos construtivos mais avançados é muito comum o aparecimento de manifestações patológicas nas estruturas de concreto, através de ataques

físicos e químicos. Assim, a estrutura deixa de oferecer segurança aos seus usuários, apresentando menor durabilidade e acarretando redução da vida útil.

**De acordo com o exposto, o problema de pesquisa está associado em como se pode garantir a durabilidade das estruturas de concreto, a fim de obter mais segurança para os usuários e atender à vida útil das construções brasileiras.**

### 1.3 OBJETIVOS

Nesse tópico serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos que direcionam a pesquisa.

#### 1.3.1 Objetivo geral

Investigar a eficiência das especificações das normas de *projeto* em relação à vida útil e à durabilidade das estruturas de concreto armado, frente as práticas de obtenções de concreto.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Conceituar durabilidade e vida útil das estruturas de concreto, conforme as normas especificadas na NBR 15575 (ABNT, 2013);
- b) Analisar a norma NBR 6118 sobre projeto de estruturas de concreto;
- c) Analisar a norma nacional de inspeção e manutenção das edificações;
- d) Examinar as manifestações patológicas que ocorrem nas estruturas de concreto e investigar os motivos para elas estarem presentes nas construções;
- e) Averiguar se as normas estudadas atendem à necessidade das construções;
- f) Averiguar as práticas frente às obtenções de concreto;
- g) Realizar ensaios laboratoriais para estimar a vida útil das estruturas de concreto armado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste tópico serão apresentados os conceitos de vida útil e durabilidade de estruturas de concreto, destacando suas manifestações patológicas mais frequentes e, por fim, será apresentada uma análise das normas brasileiras e internacionais para projetos e manutenções dessas estruturas.

### 2.1 VIDA ÚTIL

Conforme Helene (2003) A vida útil da estrutura depende do desempenho dos elementos e componentes estruturais e partes da obra. Componentes, tais como drenos, juntas, aparelhos de apoio, instalações, pingadeiras, rufos, chapins, impermeabilizações, revestimentos e outros, geralmente possuem vida útil mais curta que a do concreto, exigindo previsões adequadas, substituições e manutenções. Durabilidade e vida útil estão interligados, sendo durabilidade a qualidade da estrutura e a vida útil a quantificação desta qualidade (SILVA, 2011).

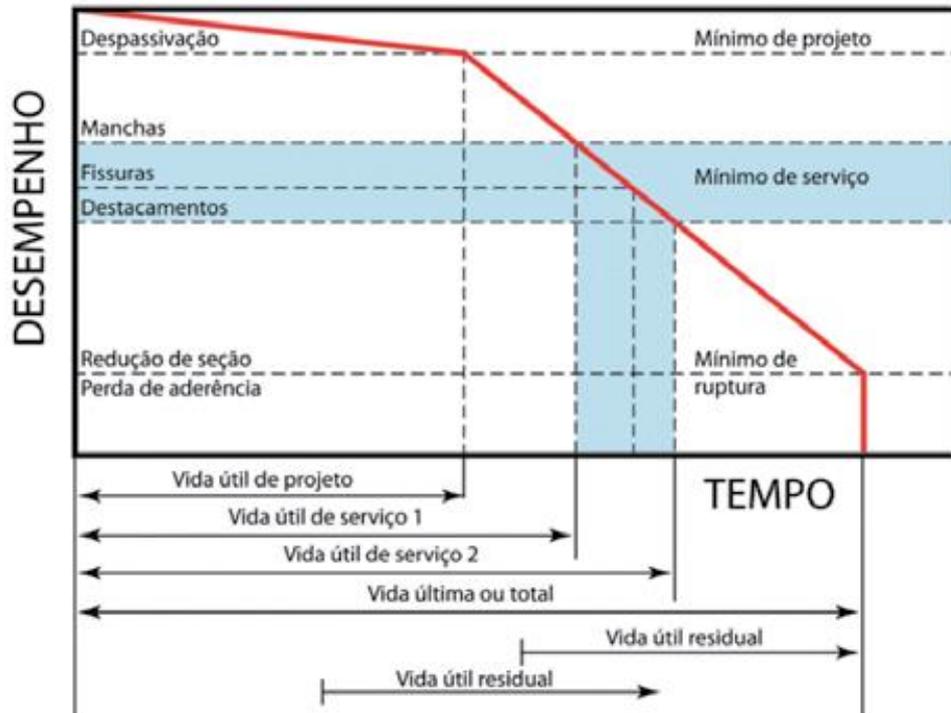
Na construção, *vida-útil* traz em seu conceito as seguintes fases: Planejamento, Projeto, Materiais, Execução e Manutenção. Essas fases devem ser projetadas e construídas em condições ambientais previstas, manutenções preventivas e especificadas em projeto, conservando a durabilidade da estrutura, aparência e segurança. Para ajudar a conservar a durabilidade das estruturas, são necessários pelo menos seis responsáveis: o proprietário, o responsável pelo projeto arquitetônico, responsável pelo projeto estrutural, tecnologia do concreto, construção e por fim o usuário (HELENE, 2003).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013), define vida útil como o período onde um edifício e/ ou seus sistemas realizam atividades para as quais foram projetados e construídos, com a acessão dos níveis de desempenho, argumentando a correta execução dos processos de manutenção detalhado no respectivo manual de uso, operação e manutenção. E a ISO 13823 (2012) como, o período em decorrer do qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes desempenham os requisitos previsto de projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo. Dessa forma é possível afirmar que vida útil é o período em que a estrutura permanece em condições de uso adequado e atende às necessidades especificadas em projeto, sem necessidade de manutenção corretiva.

A estimativa de vida útil de estruturas de concreto conforme Helene (2004), pode ser efetuada através de um dos quatro procedimentos citados por ele. Esses procedimentos são

com base nas experiências anteriores, ensaios acelerados, enfoque determinista e enfoque estocástico ou probabilista. Foram propostas algumas situações de vida útil através do tempo e desempenho das estruturas apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama da conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão das armaduras



Fonte: Helene (1997, p. 10).

Interpretando a figura 1, tem-se as definições especificadas a seguir (HELENE, 1997):

- a) Vida útil de projeto: É período necessário para que a carbonatação e/ou os cloretos atinjam a armadura. Tempo referente que vai até a qualidade dos componentes do concreto e sua durabilidade estrutural. A corrosão normalmente acontece quando os agentes degradadores atingem a amadura, mas não significa que necessariamente a partir desse momento haverá corrosão importante. É um período a favor da segurança que deve ser adotado no projeto.
- b) Vida útil de serviço: É o tempo que vai até o momento que aparecem fissuras ou destacamento do concreto de cobrimento ou manchas na superfície do concreto. Os casos são variáveis pois dependem das exigências ao uso. Em algumas situações é inaceitável que uma estrutura apresente manchas de corrosões ou fissuras, e em outros somente no início da queda de pedaços de concreto.

- c) Vida útil última ou total: Tempo que vai até o colapso parcial ou total, ou ruptura da estrutura. Onde há redução da seção resistente da armadura ou da perda importante da aderência do concreto / armadura.
- d) Vida útil residual: É o tempo de uma data qualquer de uma vistoria que poderá ser efetuada a qualquer instante da vida de uso da estrutura, que ela ainda será capaz de desempenhar suas funções. O prazo para esta vida útil pode ser o limite do projeto, da ruptura, ou das condições de serviço, gerando três possíveis vidas úteis. Uma mais curta, até a despassivação da armadura, outra até o aparecimento de manchas, fissuras ou destacamento do concreto e outra longa até a perda da capacidade de resistência do componente estrutural ou seu eventual colapso.

A NBR 15575 (ABNT, 2013), define Vida Útil de Projeto (VUP) como o período para o qual um sistema é projetado, que atende os requisitos de desempenho estabelecidos, das normas aplicáveis, no estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento da periodicidade e correta execução dos processos do manual de uso, operação e manutenção. Para a NBR 6118 (ABNT, 2014), vida útil de projeto é o período no qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Estão dispostos na NBR 15575 (ABNT, 2013) valores teóricos mínimo, intermediário e também superior, para a VUP, demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Vida útil de projeto (VUP) para os níveis mínimo, intermediário e superior

Sistema	VUP (anos)		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75

Fonte: Modificado NBR 15575 (ABNT, 2013).

Expressada normalmente em anos a vida útil de projeto mínima é de 50 anos para estruturas principais, como por exemplo: fundações, elementos estruturais, paredes estruturais, contenções e arrimos. E 50, 75 e até mais de 100 anos para estruturas civis como pontes, viadutos, barragens entre outras estabelecidas pela maioria das Normas nacionais e internacionais conforme a tabela 2. Em obras provisórias adota-se pelo menos um ano de vida útil de projeto.

Tabela 2 – Vida útil de projeto recomendada por várias normas

Tipo de Estrutura	Vida útil de projeto (VUP) mínima (anos)				
	BS 7543 (1992)	ISO 2394 (1998)	Fib 34 (2006) e EM 206- 1 (2007)	Fib 53 (2010)	NBR 15575 (2013)
Temporárias	≥ 10	1 a 5	≥ 10	-	-
Partes estruturais substituíveis (Ex.: apoios)	≥ 10	≥ 25	10 a 25	25 a 30	23 a 20
Estruturas para agricultura e semelhantes	-	-	15 a 30	-	-
Estruturas <i>offshore</i>	-	-	-	≥ 35	-
Edifícios industriais e reformas	≥ 30	-	-	-	-
Edifícios e outras estruturas comuns	-	≥ 50	≥ 50	≥ 50	50
Edifícios novos e reformas de edifícios públicos	≥ 60	-	-	-	-
Edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil	≥ 120	≥ 100	≥ 100	≥ 100	-
Edifícios monumentais	-	-	-	≥ 200	-

Fonte: Modificado com base em BS 7543 (1992), ISO 2394 (1998), FIB 34 (2006) e EM 206-1 (2007), FIB 53 (2010) e NBR 15575 (ABNT, 2013).

Pode-se observar que nas tabelas anteriores existem distintos tipos e sistemas estruturais com sua vida útil. Algumas partes substituíveis de uma estrutura possuem vida útil inferior à estrutura, com isso, devemos considerar a estrutura e suas partes, estimar vida útil, manutenções e reparos separadamente. O profissional, o construtor e o proprietário devem considerar vida útil mínima de cada sistema, garantindo o desempenho e funções especificadas. O quadro 1 mostra algumas categorias de vida útil de projeto para partes do edifício.

Quadro 1 – Categoria de vida útil de projeto para partes do edifício

Categoria	Descrição	Vida útil	Exemplos típicos
1	Substituível	Vida útil mais curta que o edifício, sendo sua substituição fácil e prevista na etapa de projeto	Muitos revestimentos de pisos, louças e metais sanitários
2	Manutenível	São duráveis, porém necessitam de manutenção periódica, e são passíveis de substituição ao longo da vida útil do edifício	Revestimentos de fachadas e janelas
3	Não manutenível	Devem conter a mesma vida útil do edifício, por não possibilitarem manutenção	Fundações e muitos elementos estruturais

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013, p 52).

É de obrigação a atuação de todos aqueles que intervêm, e que a escolha dos materiais e técnicas seja levado em conta apenas o custo inicial, para que a VU atingida seja maior ou igual à VUP (NBR 15575-1, ABNT 2013).

O início da contagem dos prazos de vida útil, bem como dos prazos de garantia, segundo a norma é sempre o da data de conclusão do edifício habitacional, a emissão do *Habite-se* (NBR 15575-1, ABNT 2013).

## 2.2 DURABILIDADE

A durabilidade tem sido a principal exigência nas construções, mas ao mesmo tempo, uma das menos atendidas. Como o caso da resistência do produto à deterioração, tendo como função: relação água/cimento, consumo mínimo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto, tipo de cimento, agressividade ambiental, espaçamento mínimo entre armaduras, procedimentos de execução, cuidados de manutenção na etapa de pós-obra da edificação e cobrimento mínimo da armadura (ZEQUIM, 2017).

Para a previsão de vida útil leva-se em conta a durabilidade das estruturas e suas partes sugerindo a modelagem matemática como ferramenta para a estimativa desses elementos e análise de desempenho. Jhon (2001) afirma que a durabilidade, expressa pela distribuição de vida útil de um conjunto de componentes, desempenha uma função importante, finalidade de qualquer projeto bem engendrado.

De acordo com a ISO 13823 (2008), a durabilidade satisfaz os requisitos de desempenho de projeto com dada manutenção planejada, em um período de tempo sob influência das ações ambientais ou envelhecimento natural, ou seja, as condições de exposições e utilizações impostas durante a vida útil da edificação.

Mehta e Monteiro (2014), afirmam que vida útil longa é sinônimo de durabilidade. Possan e Demoliner (2013) asseguram que durabilidade e vida útil estão ligadas, se a edificação tiver seus componentes duráveis consequentemente terá sua vida útil prolongada.

Entende-se que uma estrutura pode ser durável ou não apenas com avaliação da utilização de modelos que representem os processos de deterioração, e para garantir o projeto, requer utilizações de metodologias de previsão de vida útil (Fib 53, 2010).

Durabilidade tem sido considerada como resistência, alterações naturais que levam a perda de desempenho. Perdas que podem ser também em decorrência do processo construtivo, como a ocorrência de um problema patológico. Um mesmo material apresenta funções de

desempenho versus tempo para diferentes condições de exposição (JHON, 2006; NBR 15575 ABNT, 2012; MATTOS, 2013).

Conforme Helene, Jairo e Marcelo (2011) é comum existir efeito de sinergia entre as partes de um sistema, uma estrutura de concreto armado submetida à reação álcali-agregado vai se expandir e fissurar, abrindo assim caminho mais rápido para os cloretos que irão causar a corrosão de armaduras. Outro exemplo também seria o fato de que os principais agentes agressivos à armadura não são agressivos ao concreto, como o gás carbônico e o íon cloreto. E já as chuvas ácidas podem danificar o concreto de cobrimento e facilitar a ação dos cloretos e gás carbônico sobre a armadura.

É indispensável a separação dos ambientes agressivos à armadura e ao concreto, encontrar projetos e detalhes estruturais que aumentem a *rijeza* da estrutura ao meio ambiente. O conhecimento dos métodos de previsão da vida útil de concreto e durabilidade são de suma importância para: prevenir manifestações patológicas precoces na estrutura, reduzindo os riscos de fissuras, corrosões, expansões; auxiliar na previsão do comportamento do concreto ao longo prazo; e contribuir para a sustentabilidade, economia e durabilidade, manejando bem custos, recursos e respeito ao meio ambiente.

Neville (1997), comenta que durante anos, o concreto foi considerado um material extremamente durável e que a deterioração precoce de estruturas recentes resultam nas patologias de concreto, gerado por um somatório de fatores, como: má utilização da obra, erros de projeto e de execução, agressividade do meio ambiente, inadequação dos materiais, e ineficiência de controle da qualidade na construção civil.

Helene (2001) explica que conforme a diretriz encontrada na literatura técnica, a durabilidade das estruturas é determinada por quatro fatores identificados como regra dos 4C, são eles: composição ou traço do concreto; compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura; cura efetiva do concreto na estrutura; e cobrimento ou espessura do concreto de cobrimento das armaduras.

Um exemplo seria o adensamento mal executado, que resulta em um alto índice de vazios, produzindo um concreto poroso. E uma cura insuficiente produz baixo grau de hidratação, gerando alta permeabilidade e baixa durabilidade.

A durabilidade tem demonstrado em vários trabalhos a importância econômica referente aos gastos com manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos (UEDA; TAKEWAKA, 2007), apresentado a seguir no quadro 2.

Quadro 2 – Gastos com manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos

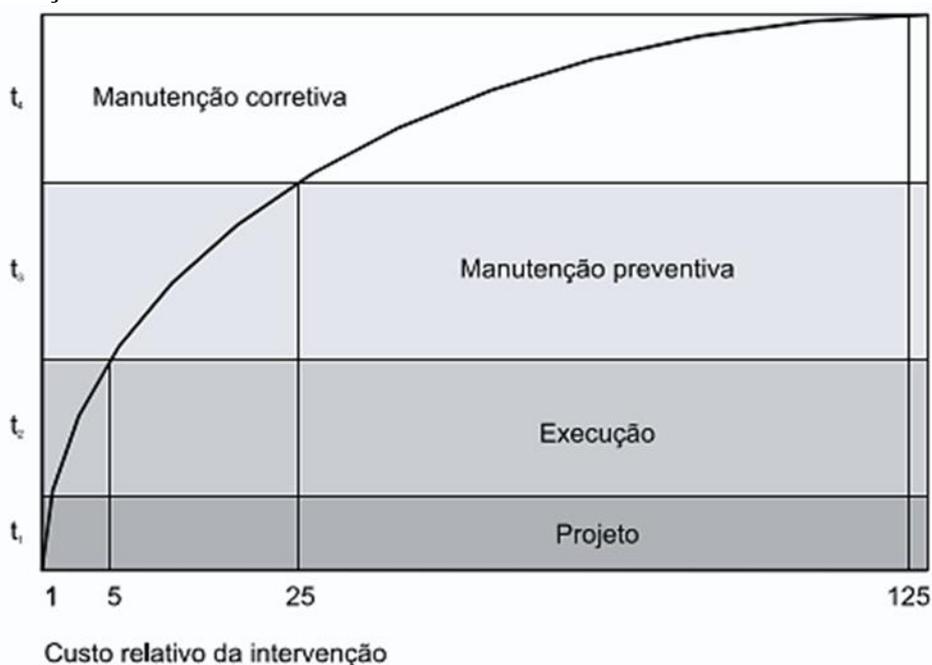
País	Ano	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	2004	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanha	2004	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	2002	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	2004	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de Libras (50%)	121,9 Bilhões de Euros (100%)

Fonte: Modificado de Ueda e Takewaka (2007).

É importante observar nesse quadro que os gastos com manutenção são praticamente os mesmos para construções novas.

A evolução dos custos de intervenção na estrutura para atingir o nível de durabilidade e proteção crescem rapidamente. Na figura 5, é apresentada a evolução desse custo por uma progressão geométrica lei dos 5 ou regra de Sitter.

Figura 2 – Representação da evolução dos custos em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção é feita



Fonte: Sitter, 1984 CEB RILEM (apud Helene, 2003, p. 27)

Explicação conforme Helene (1997) e NBR 6118 (ABNT, 2003), à intervenção seja feita na:

- Fase de projeto: aumentar a proteção e durabilidade da estrutura, como reduzir a relação água/cimento do concreto ou aumentar o fck, aumentar o

- cobrimento da armadura, especificar certas adições ou tratamentos protetores de superfície, implicam em um custo associado ao número um;
- b) Fase de execução: são medidas tomadas durante a fase de execução que implicam num custo 5. Um exemplo seria reduzir a relação água/cimento para aumentar a durabilidade.
  - c) Fase de manutenção preventiva: são as operações de manutenção, como: limpeza de fachadas sem beirais e sem proteção, pinturas frequentes, impermeabilização de coberturas e reservatórios mal projetados. Custo seria 25 vezes maior que as medidas tomadas na fase de projeto, mas podem ser cinco vezes mais econômicas que aguardar os problemas patológicos.
  - d) Fase de manutenção corretiva: são problemas patológicos que já perderam sua vida útil de projeto, como reparo, reforço e proteção. Custo de 125 vezes maior, que poderiam e deveriam ter sido tomadas na fase de projeto evitando a intervenção corretiva.

### 2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Com o passar do tempo, muitas obras começaram a apresentar níveis de degradações superiores aos desejados, surgindo problemas relacionados à qualidade, durabilidade, e, o envelhecimento precoce. Com a queda de desempenho surgiram as manifestações patológicas nas edificações; esses problemas afetam a estética, a segurança, a utilização e a durabilidade das construções.

Conforme Andrade e Silva (2005), a dilatação dos materiais e ações de intempéries que sempre estão presentes nas estruturas de concreto, tem tido problemas porque sempre estão surgindo em poucos anos após construídos, gerando assim manutenções corretivas para aumentar sua vida útil antes dos 20 anos de uso.

As manifestações patológicas são objeto de estudos para muitos pesquisadores, tem-se cada vez mais investigado suas causas em busca de soluções para evitar o surgimento das mesmas. Essas patologias podem ser ocasionadas por falhas no planejamento do projeto, má qualidade dos materiais, falhas no período de execução e falta de manutenção adequada. Através de inspeções e análises das manifestações patológicas, é possível identificar a origem, causa e sintoma das anomalias estruturais. Buscando soluções mais adequadas para cada caso.

Nesse capítulo serão apresentados os principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado.

### 2.3.1 Mecanismos de deterioração das estruturas

O concreto diante de outros materiais, fornece uma grande proteção a armadura contra os agentes agressivos. Essa proteção deve-se basicamente à função do efeito físico e químico. Mesmo assim, é muito comum o surgimento de manifestação patológicas nas estruturas de concreto.

Conforme as normas existentes NBR 6118 e NBR 12655 (ABNT, 2014; 2015) os principais e mais frequentes mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas são relativos ao concreto, armadura e da estrutura propriamente dita, listados a seguir.

- a) Mecanismos relativos ao concreto: Lixiviação, expansão e reações deletérias;
- b) Mecanismos relativos à armadura: Corrosão devida à Carbonatação e corrosão por elevado teor de íon cloro (cloreto);
- c) Mecanismos relativos da estrutura propriamente dita: Ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, deformação lenta, relaxação e outros considerados em qualquer norma.

De forma geral, substâncias fermentadas, óleos, ácidos orgânicos e minerais, esgoto industrial pode atacar o concreto. Já o aço é mais afetado aos ataques do meio ambiente, por conta disso é extremamente importante um revestimento adequado das armaduras.

No quadro três estão apresentados os mecanismos físico-químicos de deterioração das estruturas de concreto armado e protendido de uma forma geral. Em seguida, uma breve explicação sobre cada natureza exposta, suas formas de ação e como evitar.

Quadro 3 – Principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado

<b>Agressividade do ambiente</b>		<b>Consequência sobre a estrutura</b>	
<b>Natureza do processo</b>	<b>Condições particulares</b>	<b>Alterações iniciais na superfície do concreto</b>	<b>Efeitos a longo prazo</b>
Carbonatação	UR 60% a 85%	Imperceptível	Redução do pH Corrosão de armaduras Fissuração superficial
Lixiviação	Atmosfera ácida, águas puras	Eflorescências, manchas brancas	Redução do pH Corrosão de armaduras Desagregação superficial
Retração	Umedecimento e secagem, ausência de cura UR baixa (<50%)	Fissuras	Fissuração Corrosão de armaduras
Fuligem	Partículas em suspensão na atmosfera urbana e industrial	Manchas escuras	Redução do pH Corrosão de armaduras

Agressividade do ambiente		Consequência sobre a estrutura	
Natureza do processo	Condições particulares	Alterações iniciais na superfície do concreto	Efeitos a longo prazo
Fungos e mofo	Temperaturas altas (>20°C e <50°C) com UR > 75%	Manchas escuras e esverdeadas	Redução do pH Corrosão de armaduras Desagregação superficial
Concentração salina, CI	Atmosfera marinha e industrial	Imperceptível	Despassivação e corrosão de armaduras
Sulfatos	Esgoto e águas servidas	Fissuras	Expansão => Fissuras Desagregação do concreto Corrosão de armaduras
Álcali-agregado	Composição do concreto umidade, UR > 95%	Fissuras Gel ao redor do agregado graúdo	Expansão => Fissuras Desagregação do concreto Corrosão de armaduras

Fonte: Medeiros, Andrade e Helene (2011, p. 784).

A Carbonatação é resultante das mudanças na microestrutura e na diminuição do pH do concreto, reduzindo a proteção passiva das armaduras e aumentando a vulnerabilidade à corrosão. O processo de carbonatação é gerado pelas reações químicas resultantes da interação do CO<sub>2</sub> (gás carbônico) com os produtos da hidratação do cimento, formando o ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) que quando reage com a pasta de cimento hidratada, resulta em carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e água, dando origem à carbonatação. Conforme o Carmona (1992) para evitar a carbonatação, é necessário reduzir a quantidade de poros, menor relação água/cimento, podendo ser utilizados aditivos que diminuem a quantidade de água no traço do concreto.

Lixiviação é a ação extrativa ou de dissolução que os compostos hidratados da pasta de cimento sofrem quando há infiltração de água (JORGE, 2001). Dessa forma, a lixiviação reduz a resistência mecânica da estrutura e abre caminho para entrada de gases e líquidos, causando outros problemas patológicos. A manifestação se inicia com eflorescências e manchas brancas. Conforme Vieira (2017), para evitar a lixiviação é necessária atenção na dosagem do concreto, diminuindo a quantidade de água, para produzir um concreto menos poroso.

As construções de concreto não ficam imunes aos agentes agressivos liberados pelos automóveis e indústrias, esses agentes afetam o concreto em forma de fuligem, hidrocarbonetos e gases residuais. São partículas pretas e gordurosas, oriundas da queima de combustíveis. Para aumentar a durabilidade do concreto em ambientes urbanos pode-se diminuir a permeabilidade do concreto, evitando que a fuligem entre e se deposite no concreto, garantindo a ausência de manifestações patológicas por esse fator.

Manchas em fachadas não têm apenas uma causa, podendo ser por umidade, mofo ou bolor, onde o mofo é uma alteração microscópica de microrganismos, uma colonização do

grupo dos fungos. Fachadas mal ventiladas, climas com excesso de umidade, também favorecem o crescimento desses microrganismos. Os fungos em revestimentos internos ou de fachadas causam alterações estéticas de paredes e tetos, apresentando colorações indesejáveis escuras, como em cores preta, marrom, verde, ou ocasionando manchas claras esbranquiçadas ou amareladas. Essas manchas podem ser também de fuligem, depósito de pó e outras partículas atmosféricas na fachada, gerados pela chuva direta, vento, poluição do entorno, lâmina d'água escorrida, porosidade do material, temperatura e formas das edificações (SILVA; PINHEIRO; 2005). Para a reabilitação da superfície do concreto, pode ser feita a higienização com jato de água e aplicar resina acrílica, proporcionando maior proteção a ações do tempo, gerando assim maior durabilidade das estruturas.

Um dos ambientes de maior agressividade para o concreto armado é a atmosfera salina, através da ação de águas saturadas, de sais em contato com a estrutura, névoa salina e principalmente a ação da maresia. Os sais como os cloretos, podem ocasionar a despassivação da armadura e provocar uma deterioração mais agressiva. A corrosão é manifestada através de mecanismos de transporte de massa, onde íons cloretos penetram no concreto até atingir a armadura. Um dos maiores e intensos problemas que pode ocorrer em estruturas de concreto é a corrosão por ingresso de cloretos (FERREIRA, 2005).

Alguns fatores que influenciam o ataque por sulfato são: o nível da água e sua variação sazonal, o fluxo da água subterrânea, porosidade do solo, qualidade do concreto e sua forma de construção. Esse ataque inicia-se com a penetração de íons sulfato pela porosidade do concreto. Quando agem com compostos hidratados formam-se compostos expansivos, gerando o tensionamento da matriz, fragilidade e fissuração (LINHARES; DAL MOLIN, 2010). A literatura técnica recomenda que, para um concreto normal a relação água/cimento deve ser usada mais baixa para estanqueidade ou para proteção contra a corrosão; em condições de ataques severos, usar cimento Portland resistente a sulfatos, uma relação água/cimento máxima de 0,45, um consumo mínimo de cimento de 370 kg/m<sup>3</sup> e uma camada protetora de concreto, tendo como prevenção, qualidade construtiva e camadas protetoras.

Reação álcali-agregado pode ser uma reação química entre sílica reativa e os álcalis no cimento, que podem gerar desagregação do concreto. Alguns fatores que influenciam as reações são: a quantidade, o tamanho e a reatividade do constituinte reativo aos álcalis presentes no agregado; a contribuição de íons alcalinos de outras fontes; a disponibilidade de umidade junto as estruturas de concreto; o conteúdo de álcalis do cimento e consumo de cimento do concreto; e a temperatura ambiente. Mas essas reações só são identificadas após testes laboratoriais. Não se conhece um método definitivo de recuperação de estruturas

afetadas, pode-se tratar as trincas com argamassa mais fraca para proteger a entrada de materiais agressivos e após três a cinco anos quando estiverem estabilizadas, tratá-las com injeções de epóxi.

## 2.4 ANÁLISE DAS NORMAS

As normas brasileiras relacionadas ao projeto estrutural e à durabilidade das estruturas citadas na NBR 15575, NBR 6118 e NBR 12655 (ABNT, 2013; 2014; 2015) não fornecem recomendações necessárias para atender aos requisitos de durabilidade e vida útil das estruturas especificados nos tópicos 2.1 e 2.2 desta pesquisa. Dessa forma, nos próximos tópicos serão analisadas as normas brasileiras e as normas internacionais de projeto estrutural.

### 2.4.1 Normas brasileiras

A norma de desempenho das edificações habitacionais NBR 15575 (ABNT, 2013), busca atender requisitos gerais dos usuários, em seus sistemas baseados nas exigências e em edifício habitacional, englobando conceitos como, garantia legal, garantia certificada, prazos de garantia e vida útil. Tem como objetivo melhorar a qualidade das construções

A mesma norma distribui responsabilidades no processo de produção de uma edificação, dos projetistas, construtores, fornecedores, incorporadores e os moradores. É mais importante que todos sigam prazos e possuam condutas e compromissos a cumprir, para que a norma seja contemplada e a construção possua uma durabilidade e desempenho mínimo.

A NBR 6118 elaborada e aprovada em 1940, desde então ela foi analisada e aprimorada diversas vezes. Mas somente em 2003 iniciou-se uma grande reforma na norma, finalizada em 2007, nessa revisão foi implementado um dos aspectos mais importantes para estruturas de concreto, que é a preocupação com a durabilidade das estruturas. “Naquele ano, a norma foi totalmente remodelada. A sequência de capítulos mudou drasticamente, deu-se prioridade à parte de projetos, houve a unificação de toda a parte de concreto – simples, armado e protendido – e surgiram requisitos de durabilidade e análise estrutural”, revela Alio Kimura.

Em 2014 foi publicada a nova revisão da NBR 6118, essa revisão trouxe algumas mudanças na execução de projetos estruturais, nos projetos arquitetônicos e na industrial da construção civil. As principais mudanças estão listadas a seguir:

- A norma determina que os projetos estruturais sejam verificados por profissional habilitado, sem discriminação com relação ao porte da obra.

- Introduz o grupo II de resistência característica do concreto que abrange concretos entre 55 e 90 MPa.
- Se ateuve da importância do cobrimento das armaduras, e do dimensionamento correto para as mesmas, definindo em norma as seções mínimas dos elementos estruturais. Onde para elementos em contato direto com o solo é necessário um cobrimento mínimo de 30 mm para as classes de agressividade ambiental I e II, 40 mm para classe III e 50 mm para classe IV. Para superfícies expostas a ambientes agressivos, passam exigir cobrimento da classe de agressividade IV (50 mm), diferente da versão anterior que previa um cobrimento de 45 mm para esses casos.
- A reforma possibilita o uso de aditivos a *base de cloretos* desde que se obedeça aos limites estabelecidos na NBR 12655.

A norma para concreto de cimento Portland NBR 12655 (ABNT, 2015) especifica requisitos para propriedades do concreto e suas verificações: composição, preparo, controle, recebimento e aceitação do material. Antes do início das operações de concretagem estrutural, devem ser definidas todas as características e propriedades do concreto, sendo de responsabilidade pelo cumprimento da norma, o proprietário e o responsável técnico da obra. A norma determina que os componentes do concreto não podem conter substâncias prejudiciais à durabilidade ou que possam causar corrosão da armadura. Abrange assuntos sobre a agressividade e qualidade do concreto para condições especiais de exposição, como sulfatos, cloretos e outros agentes agressivos.

#### 2.4.1.1 Classificação de agressividade ambiental

A agressividade ambiental nas estruturas está diretamente relacionada com as ações físicas e químicas atuantes, independente das outras ações previstas no dimensionamento das estruturas de concreto armado e protendido. A NBR 6118 (ABNT, 2014) disponibiliza uma classificação de agressividade ambiental para cada tipo de ambiente, demonstrando o risco de deterioração exposto no quadro 4. Deve-se levar em conta o micro e microclimas atuantes sobre as construções e suas partes críticas.

Quadro 4 - Classificação de agressividade ambiental

Classe de agressividade	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural; Submersa	Insignificante
II	Média	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha; Industrial	Grande
IV	Muito Forte	Industrial; Respingos de maré	Elevado

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 08).

Diante dessa classificação, adota-se uma recomendação para a espessura de cobertura nominal das armaduras, para que durante a vida útil da mesma esteja garantida uma proteção física, química e mecânica das barras de aço, conforme a tabela a seguir.

Tabela 3 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobertura nominal da armadura

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobertura nominal (mm)			
Concreto Armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30	30	40	50

Fonte: Adaptado por Bolina e Tutikian (2016, p. 288) da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Quando os critérios estabelecidos na NBR 6118 (ABNT, 2014) são atendidos, a durabilidade se torna dependente das características do concreto. Sendo assim, a NBR 12655 (ABNT, 2015) estabelece uma correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto, estabelecendo requisitos mínimos, entre relação água/cimento, resistência à compressão e durabilidade do concreto conforme a tabela a seguir.

Tabela 4 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto $\text{kg/m}^3$	CA e CP	$\geq 260$	$\geq 280$	$\geq 320$	$\geq 360$

NOTA: CA – componentes e elementos estruturais de concreto armado. CP – Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 18) e NBR 12655 (ABNT, 2015, p. 12).

Em casos de condições especiais de exposição do concreto a norma determina os requisitos mínimos para máxima relação água/cimento e resistência característica mínima.

Tabela 5 – Requisitos para o concreto, em condições especiais de exposição

<b>Condições de exposição</b>	<b>Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal</b>	<b>Mínimo valor de <math>f_{ck}</math> (para concreto com agregado normal ou leve) MPa</b>
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água, por exemplo, em caixas d'água	0,50	35
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo	0,45	40
Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes	0,45	40

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015, p. 12).

Quando o concreto é exposto a solos sulfatados, é necessário que esse concreto seja preparado com cimento resistente a sulfatos conforme especificado na tabela a seguir.

Tabela 6 – Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

<b>Condições de exposição em função da agressividade</b>	<b>Sulfato solúvel em água (SO<sub>4</sub>), presente no solo % em massa</b>	<b>Sulfato solúvel (SO<sub>4</sub>), presente na água ppm</b>	<b>Máxima relação a/c, em massa, para concreto com agregado normal*</b>	<b>Mínimo <math>f_{ck}</math> (para concreto com agregado normal ou leve) MPa</b>
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	-	-
Moderada **	0,10 a 0,20	150 a 1500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1500	0,40	40

\* Baixa relação a/c ou resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo;  
 \*\*Água do mar considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO<sub>4</sub> seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos.

\*\*\*Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015, p.13).

A fim de proteger as armaduras do concreto, a norma estabelece limites na composição do concreto para a concentração de íons cloreto no concreto endurecido, conforme a classe de agressividade. Na realização dos ensaios para determinar o teor de íons cloreto solúveis em água, deve ser seguido o procedimento da ASTM C 1218.



Tipo de corrosão	Condição de exposição	Tipo de cimento	Cobrimento do nominal concreto (mm)								
			45	45	50	55	60	65	70	75	
Por cloretos (exceto água do mar)	Úmida, raramente seca	I, IIA, IIB-S, SRPC	-	-	-	-	-	C40/50 C45/55 0,40;38 0	C35/45 C32/40 0,45;36 0	C28/3 5 0,50;3 40	C35/4 5 0,45;3 60
		IIB-V, IIIA	-	-	-	C40/50 0,35;380	C35/45 0,40;380	C32/40 0,45;36 0	C25/3 5 0,50;3 40	C25/3 0 0,55;3 20	
		IIB, IVB-V	-	-	-	C32/40 0,40;380	C28/35 0,45;360	C25/30 0,50;34 0;	C25/3 0 0,55;3 20	C25/3 0 0,55;3 20	
		I, IIA, IIB-S, SRPC	-	-	-	-	-	C45/55 0,35;38 0	C40/50 0,40;3 80	C356/45 0,45;3 60	
		IIB-V, IIIA	-	-	-	C40/50 0,35;380	C35/45 0,40;380	C32/40 0,45;36 0	C28/3 5 0,50;3 40	C25/3 0 0,55;3 20	
	Ciclos de molhagem e secagem	IIB, IVB-V	-	-	-	C32/40 0,40;380	C28/35 0,45;360	C25/30 0,50;34 0;	C25/3 0 0,55;3 40;	C25/3 0 0,50;3 40;	
		I, IIA, IIB-S, SRPC	-	-	-	-	-	C45/55 0,35;38 0	C40/50 0,40;3 80	C356/45 0,45;3 60	
		IIB-V, IIIA	-	-	-	C40/50 0,35;380	C35/45 0,40;380	C32/40 0,45;36 0	C28/3 5 0,50;3 40	C25/3 0 0,55;3 20	
		IIB, IVB-V	-	-	-	C32/40 0,40;380	C28/35 0,45;360	C25/30 0,50;34 0;	C25/3 0 0,55;3 40;	C25/3 0 0,50;3 40;	
		I, IIA, IIB-S, SRPC	-	-	-	-	-	C45/55 0,35;38 0	C40/50 0,40;3 80	C356/45 0,45;3 60	

Fonte: Adaptado por Bolina e Tutikian (2016, p. 289) da BS 8500-1:2006.

O consumo de cimento está relacionado com os parâmetros de durabilidade, resistência mecânica, fluidez entre outros. A norma internacional BRE (2005) explica que a penetração dos íons sulfatos ocorre na solução alcalina porosa que resulta da hidratação do cimento, apresentando manifestações patológicas. Dessa forma é necessário usar cimentos resistentes ao sulfato.

Na IS 456:2000 destaca-se uma classificação qualitativa em ambientes com agressores às estruturas. Com isso a norma Indiana especifica um consumo mínimo de cimento de 370 kg/m<sup>3</sup>. Para a ACI 318-11:2002 e para NBR 6118 (ABNT, 2014), a VUP é de 50 anos, são recomendações mais conservadoras do que as praticadas pela NBR 6118 (ABNT, 2014) para estruturas enterradas.

Tabela 9 – Classificação ACEC para solos naturais

Classe DS (Design Class) do solo	Sulfatos		pH águas subterrâneas			Classe AEC do solo
	Extrato 2:1 água/solo (SO <sub>4</sub> mg/l)	Água subterrânea (SO <sub>4</sub> mg/l)	Potencial total de sulfatos (SO <sub>4</sub> )	Água estática (pH)	Água móvel (pH)	
DS-1	<500	<400	<0,24	≥2,5	-	AC-1s
				≥2,5	>5,5	A1-1
				≥2,5	2,5-5,5	AC-2z

Classe DS (Design Class) do solo	Sulfatos			pH águas subterrâneas			Classe AEC do solo
	Extrato 2:1 água/solo (SO <sub>4</sub> mg/l)	Água subterrânea (SO <sub>4</sub> mg/l)		Potencial total de sulfatos (SO <sub>4</sub> )	Água estática (pH)	Água móvel (pH)	
DS-2	500-1500	400- 1400	0,24- 0,6	>3,5	-	-	AC-1s
				-	>5,5	-	AC-2
				2,5-3,5	-	-	AC-2s
				-	2,5-5,5	-	AC-3z
DS-3	1600-3000	1500- 3000	0,7-1,2	>3,5	-	-	AC-2s
				-	>5,5	-	AC-3
				2,5-3,5	-	-	AC-3s
				-	2,5-5,5	-	AC-4
DS-4	3100-6000	3100- 6000	1,3-2,4	>3,5	-	>5,5	AC-3s
				2,5-3,5	-	-	AC-4
				-	2,5-5,5	-	AC-4s
				-	2,5-5,5	-	AC-5
DS-5	>6000	>6000	>2,4	>3,5	-	-	AC-4s
				2,5-3,5	≥2,5	-	AC-5

Fonte: Adaptado por Bolina e Tutikian (2016, p. 290) da BRE Special Digest 1:2005.

O cobrimento do concreto garante uma proteção química e física às estruturas, tendo como objetivo atingir o desempenho superior de durabilidade de vida útil mínimo de projeto maior ou igual a 75 anos. A tabela a seguir mostra os cobrimentos mínimos para VUP de 50 anos referente a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 10 – Classe DC e número de APM para elementos de concreto situados em zonas onde o gradiente hidráulico menor ou igual a 5: concreto para uso geral *in situ*

Classe ACEC do solo	Vida útil desejada	
	Até 50 anos	Até 100 anos
AC-1S, AC-1	DC-1	DC-1
AC-2s, AC-2	DC-2	DC-2
AC-2z	DC-2z	DC-2z
AC-3s	DC-2	DC-3
AC-3z	DC-3z	DC-3z
AC-3	DC-2	DC-3
AC-4s	DC-3	DC-3
AC-4z	DC-4z	DC-4z
AC-4	DC-3	DC-4
AC-4ms	DC-4m	DC-4m
AC-4m	DC-4m	DC-4m
AC-5z	DC-4z + APM 3 <sup>α</sup>	DC-4z + APM 3 <sup>α</sup>
AC-5	DC-4 + APM 3 <sup>α</sup>	DC-4 + APM 3 <sup>α</sup>
AC-5m	AC-4m + APM 3 <sup>α</sup>	AC-4m + APM 3 <sup>α</sup>

Fonte: Adaptado por Bolina e Tutikian (2016, p. 291) da BRE Special Digest 1:2005.

Assim como a norma brasileira NBR 6118 e NBR 12655 (ABNT 2014, 2015) a norma internacional BS 8500: 2006 também especifica o cobrimento nominal necessário para atingir a VUP de 100 anos. Nesse contexto a tabela 11 demonstra a qualidade do concreto para resistência ao ataque químico, destacando o ataque por íons cloretos.

Tabela 11 – Qualidade do concreto para resistência ao ataque químico: concreto para uso geral *in situ*

Classe DC	Máx. a/c	Mínimo consumo de cimento(kg/m <sup>3</sup> ), por tamanho de agregado				Grupo do tipo de cimento
		≥40mm	20mm	14mm	10mm	
DC-4	0,45	340	360	380	380	F
	0,4	360	380	380	380	E
	0,35	380	380	380	380	D, G
Grupo	Cimentos				Combinações	
A	CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-Q, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-V, CEM II/B-V, CEM III/A, CEM III/B				CIIA-V, CIIB-V, CII-S, CIIIA, CIIB, CIIA-D, CIIA-Q	
B	CEM II/A-L, CEM II/A-LL				CIIA-L, CIIA-LL	
C	CEM II/A-L, CEM II/A-LL				CIIA-L, CIIA-LL	
D	CEM II/B-V+SR, CEM III/A+SR				CIIB+SR, CIIIA+SR	
E	CEM IV/B(V), VLH IV/B (V)				CIVB-V	
F	CEM III/B+SR				CIIB+SR	
G	SRPC				-	

Fonte: Adaptado por Bolina e Tutikian (2016, p. 291) da BRE Special Digest 1:2005.

Para a relação água/cimento VUP de 75 anos das estruturas enterradas, deve-se considerar a umidade no solo e o ataque por sulfatos e cloretos. A expansão do concreto causa fissuras o que facilita a penetração de agentes agressivos no interior da estrutura. Com isso as recomendações de relação água/cimento devido ao ataque por cloretos considera uma classe de agressividade onde o solo está inserido como AC-5, que se classifica como a mais severa condição de exposição aos sulfatos.

Tabela 12 – Classificação da resistência dos concretos frente ao risco de corrosão de armaduras

Classe de concreto	Classe de resistência	Máxima relação a/c	Deterioração por carbonatação	Deterioração por cloretos
			Teor de adições	Teor de adições
Durável	≥ C50	≤0,38	≤ 10% de pozolana, metacaulim ou escória de alto-forno	≤ 20% de pozolana ou metacaulim ≤ 65% de escória de alto-forno aço galvanizado ou inox
Resistente	C35 C40 C45	≤0,50	≤ 10% de pozolana ou metacaulim ≤ 15% de escória de alto-forno	≤ 10% de pozolana ou metacaulim ≤ 35% de escória de alto-forno aço galvanizado ou inox

Classe de concreto	Classe de resistência	Máxima relação a/c	Deterioração por carbonatação	Deterioração por cloretos
			Teor de adições	Teor de adições
Normal	C25	≤0,62	Qualquer	Qualquer
	C30			
Efêmero	C10	Any	Qualquer	Qualquer
	C15			
	C20			

Fonte: Medeiros, Andrade e Helene (2011, p. 787).

Com a previsão de vida útil determina-se o cobrimento das armaduras, como relação água/cimento e entende-se a taxa de propagação dos agentes agressivos no interior do concreto. Tendo como análise da durabilidade das estruturas enterradas a avaliação do consumo mínimo de cimento, composição química, entre outros fatores.

Tabela 13 – Classificação da resistência dos concretos frente ao risco de deterioração por lixiviação ou por formação de compostos expansivos

Classe de concreto	Classe de resistência	Deterioração por expansão		Deterioração por lixiviação
		Teor de C <sub>3</sub> A no cimento anidro	Teor de adições	Teor de adições
Durável	≥ C50	≤5%	≥20% de pozolana ou metacaulim ≥ 65% escória de alto-forno	≥ 20% de pozolana ou metacaulim ≥ 65% de escória de alto-forno
			Resistente	≥5%
Normal	C25	≤8%	Qualquer	Qualquer
	C30			
Efêmero	C10	Qualquer	Qualquer	Qualquer
	C15			
	C20			

Fonte: Medeiros, Andrade e Helene (2011, p. 787).

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) menciona o ataque por lixiviação e reações expansivas gerado por sulfatos e pela reação álcali-agregado, conforme verificando na tabela 13 através da classe do concreto e seus teor.

## 2.5 MANUTENÇÃO/INSPEÇÃO

Toda estrutura precisa de cuidados, o que muito se esquece depois da execução, uma boa parte dos usuários não leva em conta a importância da inspeção e manutenção das edificações ao longo do tempo. E para assegurar a vida útil de projeto de uma estrutura, cabe aos responsáveis adotar medidas de inspeção, manutenção preventiva e monitoramento adequado da obra.

A norma nacional NBR 5674 (2012) define inspeção predial como uma análise isolada ou combinada das condições técnicas, de uso e de manutenção da edificação. Quanto à realização das inspeções prediais, são necessários profissionais devidamente habilitados, de preferência profissionais membros da IBAPE. A norma classifica o tipo de inspeção conforme o grau de complexibilidade e elaboração do laudo, sendo de baixa, média ou alta (nível 1, nível 2, nível 3 respectivamente). Os critérios são analisados conforme o risco que a estrutura oferece aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio, perante as condições de uso, operação e manutenção (IBAPE, 2012).

A inspeção e manutenção das estruturas está diretamente ligada à determinação da VUP mínima, sendo necessário adotar alguns conceitos através da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) e NBR 15575-6 (ABNT, 2013). Sendo eles:

- Efeito da falha de desempenho (quadro 5);
- Maior facilidade ou dificuldade no desempenho (figura 3);
- Custo da correção da falha (quadro 6).

Os efeitos das falhas de desempenho são divididos em categorias. O quadro 5 determina as categorias para cada efeito e cita exemplos mais comuns para cada caso.

Quadro 5 – Efeito das falhas no desempenho

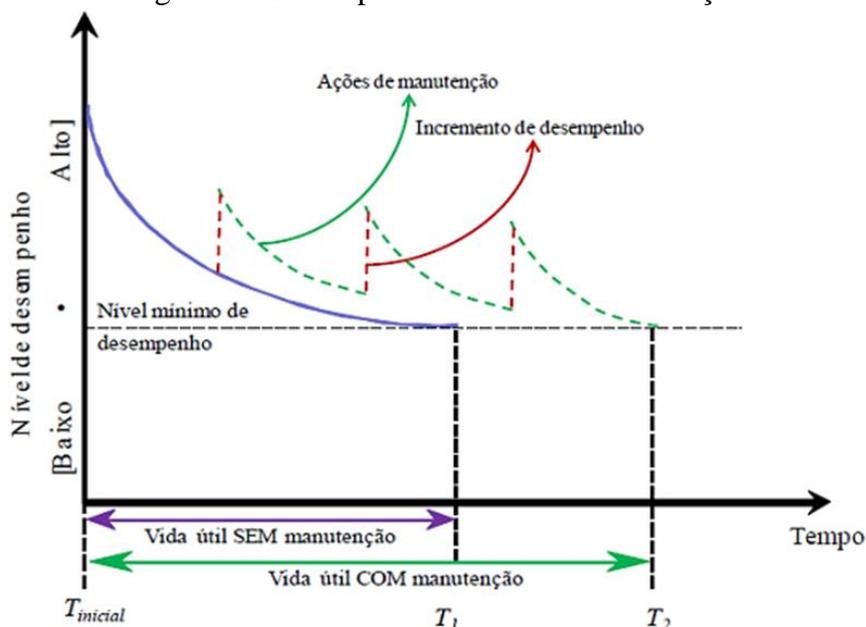
<b>Categoria</b>	<b>Efeito no desempenho</b>	<b>Exemplos típicos</b>
A	Perigo à vista (ou de ser ferido)	Colapso repentino da estrutura
B	Risco de ser ferido	Degrau de escada quebrado
B	Perigo à saúde	Séria penetração de umidade
D	Interrupção do uso do edifício	Rompimento de coletor de esgoto
E	Comprometer a segurança de uso	Quebra de fechadura de porta
F	Sem problemas excepcionais	Substituição de uma telha

NOTA: Falhas individuais podem ser enquadradas em duas ou mais categorias.

Fonte: ABNT NBR 15575 (2013, p 51).

Verifica-se que é necessário garantir e prolongar a vida útil de projeto através da influência das ações de manutenção em uma edificação conforme a figura 3.

Figura 3 – Desempenho com e sem manutenção



Fonte: Revista Técnico-Científica do CREA-PR (2013, p. 7).

No quadro 6 pode-se observar os custos de manutenção e reposição ao longo da vida útil de uma obra, separado por categorias.

Quadro 6 – Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos típicos</b>
A	Baixo custo de manutenção	Vazamentos em metais sanitários
B	Médio custo de manutenção ou reparação	Pintura de revestimentos internos
B	Médio ou alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição (do elemento ou sistema) equivalente ao custo inicial	Pintura de fachadas esquadrias de portas, pisos internos e telhamento
D	Alto custo de manutenção e/ou reparação Custo de reposição superior ao custo inicial Comprometimento da durabilidade afeta outras partes do edifício	Troca integral da impermeabilização de piscinas
E	Alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição muito superior ao custo inicial	Troca integral dos revestimentos de fachadas e estrutura de telhados

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013, p 52).

Sendo assim, é necessário destacar a importância do manual de uso, operação e manutenção, as instruções dos fabricantes de equipamentos e recomendações técnicas das inspeções prediais. Nesses documentos estão descritas as atividades e manutenções necessárias, para garantir uma vida útil longa e desempenho satisfatório das estruturas.

No projeto de estruturas de concreto são utilizados termos e critérios de dimensionamentos (segurança), estado limite último ou de ruptura e estado limite de utilização ou de serviço estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

O estado limite último ou de ruptura corresponde ao colapso de uma peça estrutural, ou seja, quando a estrutura já não pode ser utilizada por razões de esgotamento da capacidade resistente e risco à segurança. Necessitando de reparos ou substituição da construção. Seu coeficiente de segurança  $\gamma_f$ , é em torno de 1,4 a 1,5. Alguns exemplos de erros que levam as estruturas ao estado limite último: pilar mal dimensionado e materiais diferentes dos especificados utilizados em obras.

Já o estado limite de utilização ou de serviço são relacionados ao conforto para os usuários, aparência, boa utilização e durabilidade, bem como, exigir da estrutura uma rigidez mínima onde permita assentar pisos e paredes sem estes fissurar. Alguns exemplos que provocam desconforto aos usuários são: forte vibrações da estrutura, flechas excessivas em lajes ou vigas, recalques consideráveis e fissuração exagerada.

Conforme Helene (2003) a probabilidade de uma estrutura atingir os estados limites últimos ou de serviço é bem pequena. Mas ainda é comum encontrarmos estruturas muito deformadas e colapsadas.

Alguns cuidados com as edificações como medidas preventivas simples, de longo prazo, planejamentos que inicia com a inspeção predial e implantação do plano de manutenção, evitam desabamentos, quedas de fachadas e marquises, vazamentos, incêndios, infiltrações e outros descuidos com a edificação, garantindo assim a boa performance do prédio, segurança e conforto dos usuários (IBAPE/SP, 2005).

Edificações possuem vida útil estimada para um fim específico. A preocupação com a manutenção predial é indispensável, tendo com a falta de manutenção e uso indevido, grandes riscos para a edificações e até mesmo causando vítimas.

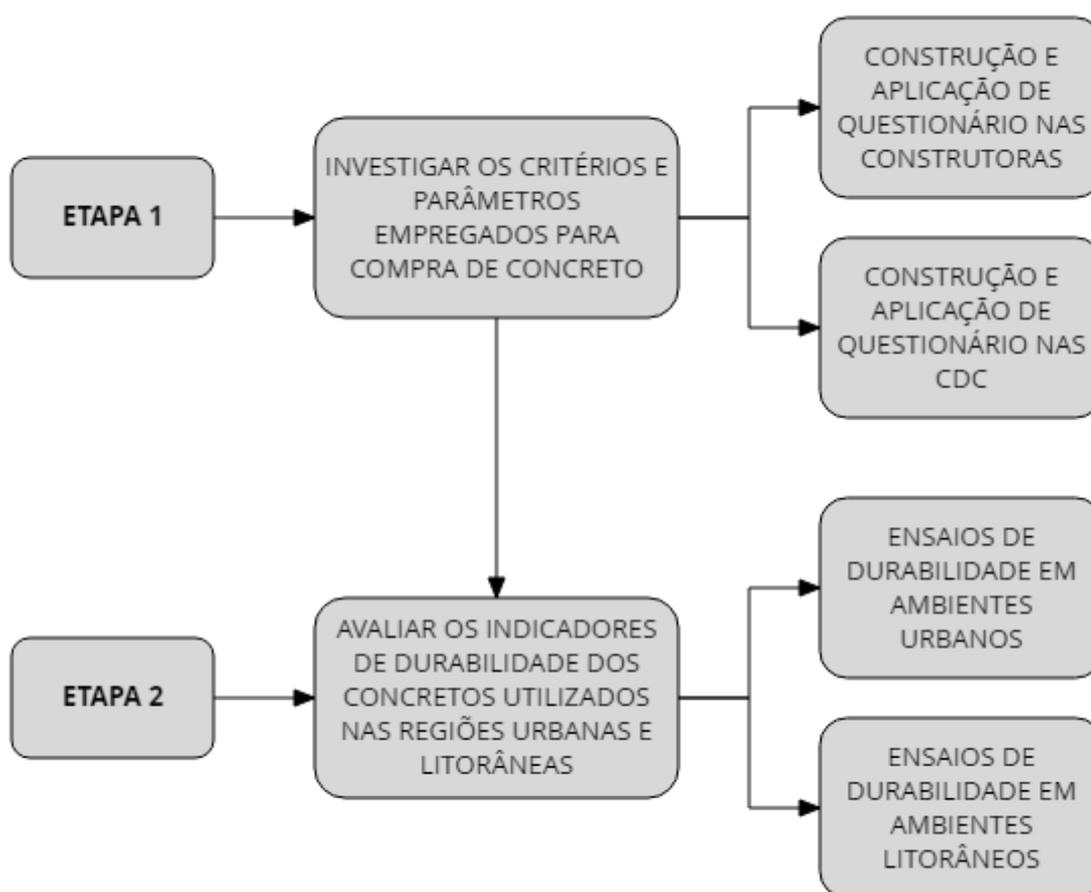
### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo, descreve-se as características da investigação efetuada, contendo os instrumentos da coleta de dados; a composição do processo de estudo; e os procedimentos para a análise dos dados.

#### 3.1 PROGRAMA DE PESQUISA

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi proposto um programa organizado em duas etapas principais: métodos utilizados para avaliar os procedimentos empregados para compra de concreto e métodos para avaliar os indicadores de durabilidade dos concretos nas cidades urbanas e litorâneas conforme a figura 4.

Figura 4 – Organograma principal da pesquisa



Fonte: Autoras (2019).

### 3.1.1 Etapa 1

Essa etapa buscou investigar os critérios e parâmetros utilizados pelas construtoras e centrais dosadoras de concreto para compra e usinagem do concreto mediante entrevistas. Foram elaborados dois questionários distintos para aplicação aos entrevistados visando os critérios necessários de cada um.

#### 3.1.1.1 Questionários

Os questionários aplicados foram elaborados na ferramenta *google forms* e enviados por e-mail para as construtoras e CDC conforme as figuras 5 e 6 respectivamente.

Figura 5 – Questionários aplicados nas construtoras

#### Investigação de indicadores de vida útil e durabilidade praticadas no mercado

Consta em um simples questionário para construtoras em razão da durabilidade e vida útil do concreto

**1. Quais os parâmetros exigidos para a compra do concreto?**

- Resistência
- Trabalhabilidade
- Volume

**2. O pedido do concreto é realizado em função da:**

- Resistência
- Durabilidade

**3. É realizado algum controle tecnológico da durabilidade do concreto, qual?**

**4. No projeto está especificado a durabilidade do concreto?**

- Sim
- Não

**5. Quais os ensaios realizados antes da concretagem?**

**6. Como é garantido o cobrimento das armaduras?**

**7. Na sua opinião o controle de durabilidade do concreto é necessário?**

**8. Você tem conhecimento sobre as exigências da NBR 6118? \***

- Sim
- Não

Figura 6 – Questionários aplicado nas CDC

**Investigação de indicadores de vida útil e durabilidade praticadas no mercado**

Consta em um simples questionário nas CDC em razão da durabilidade e vida útil do concreto

**Endereço de e-mail \***

**1. Quais os parâmetros que os clientes solicitam no pedido do concreto?**

- Resistência
- Trabalhabilidade
- Volume

**2. O estudo de dosagem é realizado em função da:**

- Resistência
- Durabilidade

**3. Qual a dispersão dos níveis de resistência? Mais que 2 Mpa de desvio padrão?**

**4. Qual o controle tecnológico da durabilidade do concreto?**

**5. Quais os materiais utilizados na fabricação do concreto?**

**6. Qual o consumo de cimento utilizado para cada nível de resistência do concreto?**

**7. Com base na pergunta anterior o consumo de cimento atende a NBR 6118?**

- Sim
- Não

**8. Como é realizado o controle e garantia da qualidade do concreto?**

**9. Na sua opinião o controle de durabilidade do concreto é necessário?**

Fonte: Autoras (2019).

As perguntas foram elaboradas para investigar os indicadores de vida útil e durabilidade praticados no mercado.

### **3.1.2 Etapa 2**

Nessa etapa são apresentados os métodos utilizados para avaliar os indicadores de durabilidade dos concretos utilizados na cidade de Tubarão e Laguna, considerando as classes de agressividade para regiões urbanas e litorâneas respectivamente. Com os ensaios realizados em laboratório é possível analisar a carbonatação e penetração de cloretos no concreto, obtendo através de modelos matemáticos uma previsão de vida útil.

### 3.1.2.1 Materiais

O cimento utilizado para as confecções dos corpos de prova foi o CP VI 32 - pozolanas do tipo cinza volante, produzido pela empresa Itambé. Esta escolha se deve ao fato deste ser o cimento mais utilizado na região do estudo.

Foi utilizada a areia fina de quartzosa e areia de britagem de granito como agregado miúdo. Estes agregados foram utilizados com a umidade natural, por ser a condição mais adequada para simular situações cotidianas nas centrais de concreto. E como agregado graúdo a pedra britada originária de rocha granítica. A areia fina é proveniente de cava da região de Içara-SC, e os materiais provenientes de cominuição de rocha são provenientes de Imbituba-SC. Foi utilizado ainda o aditivo redutor de água MiraFlow 973 produzido pela *Grace Products corporation*.

### 3.1.2.2 Processo de produção do concreto

Para realização dos ensaios de compressão axial – NBR 5739 (ABNT, 2018); módulo de elasticidade estático – NBR 8522 (ABNT 2018); penetração de cloreto – C 1202 (ASTM, 2019) e carbonatação – RILEM, 1988; foram moldados 36 corpos de prova 100x200mm, sendo 9 para cada traço demonstrados na figura 7.

Figura 7 – Corpos de prova moldados e desmoldados



Fonte: Autoras (2019).

No processo de produção do concreto foi realizada a pesagem dos materiais, feita a mistura em uma betoneira de 120 litros de capacidade e de eixo inclinado. A preparação das misturas foi executada da seguinte maneira.

Para que a água no concreto não fosse absorvida pela parede da betoneira que estava seca, a mesma foi umedecida por dentro com água, ligada por 20 segundos com a boca para baixo, tirando todo excesso.

Foram colocados todos os materiais secos e ligada por 1 minuto para fazer a mistura, em seguida com a betoneira em movimento, coloca-se em torno de 50 % da água e mistura por mais 1,5 minutos.

Na sequência foi acrescentado o aditivo e mais uma parte de água e misturou-se por mais 1,5 minutos. Foi adicionada água para o abatimento inicial desejado e feita a mistura por mais 3 minutos, totalizando 7 minutos.

Em seguida foi feito o slump, abatimento pelo tronco de concreto, de  $80 \pm 20$  mm – sendo um concreto da classe S50 da NBR 8953 (ABNT, 2015). Se o abatimento não fosse o desejado, realizava-se uma correção de adição de água, determinada pela equação 1:

$$\mathit{águ}\mathit{a}_{(cm^3)} = \frac{\mathit{Slump\ dese}\mathit{jado}_{(cm)} - \mathit{Slump\ obtido}_{(cm)}}{\mathit{volume\ de\ concreto}_{(dm^3)}} * 2 \quad (\text{Equação 1})$$

Com o slump inicial ajustado, realizava-se o transporte do concreto como uma simulação, com a betoneira ligada e uma inclinação horizontal por 15 minutos. Na sequência era determinado o abatimento do concreto, analisando a perda de abatimento. Realizava-se a correção para um a abatimento de  $140 \pm 20$  mm – sendo um concreto da classe S100 da NBR 8953 (ABNT, 2015).

Foi determinado também o teor de ar aprisionado e a massa específica real do concreto estabelecido pela NBR NM 47 (ABNT, 2002) pelo método pressométrico.

Com o restante do concreto, foram moldados 20 corpos de prova, como estabelecidos pela norma NBR 5738 (ABNT, 2015), rompidos a compressão axial, três para cada idade de interesse, aos 28 dias, que totalizou 80 corpos de prova para os estudos em concreto.

Nesses 28 dias de cura, os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida em condições de  $23 \pm 2$  °C de temperatura e com umidade relativa maior que 95%, estabelecido pela NBR 5738 (ABNT, 2015).

A NBR 5739 (ABNT, 2018), dita os ensaios de compressão axial. A máquina de ensaio utilizada foi uma prensa EMIC PCE 150. E para preparação do topo destes corpos de prova, fez-se uso de uma retífica para concreto de marca Sthulert, modelo manual.

Para os ensaios em questão foram utilizados quatro traços distintos para cada classe de agressividade conforme a tabela 14.

Tabela 14 – Proporcionamento dos materiais para confecção de 1 m<sup>3</sup> de concreto. a) traço em massa. b) traço em volume. c) Propriedades tecnológicas do concreto

a)				
	CAA I	CAA II	CAA III	CAA IV
Cimento Portland	260	280	320	360
Areia de Britagem	475	448	430	430
Areia Fina	475	448	430	430
Brita 1	1003	1003	1003	1003
Água	170	170	177	163
Aditivo	1,56	1,68	1,92	2,16
b)				
	CAA I	CAA II	CAA III	CAA IV
Cimento Portland	91	98	112	126
Areia de Britagem	179	169	162	162
Areia Fina	179	168	162	162
Brita 1	374	374	374	374
Água	170	169	177	163
Aditivo	1,42	1,53	1,75	1,96
c)				
	CAA I	CAA II	CAA III	CAA IV
a/c mássico	0,65	0,60	0,55	0,45
a/c volumétrico	1,87	1,74	1,58	1,29
Alfa mássico (%)	55%	54%	54%	55%
Alfa volumétrico (%)	55%	54%	54%	55%
M	7,51	6,78	5,82	5,18
H (%)	7,7%	7,8%	8,1%	7,3%
Teor de pasta volumétrico (%)	26,4%	27,5%	29,4%	29,4%
Teor de ar (%)	2,2%	1,8%	2,6%	2,4%
Slump final (mm)	140	140	140	140

Fonte: Autoras (2019).

Os traços utilizados nesta pesquisa seguiram os consumos de cimento e as relações água/cimento estabelecidos pela NBR 12665 (ABNT, 2015) para as diferentes classes de agressividade.

### 3.1.2.3 Ensaio de carbonatação

Para o ensaio de carbonatação são necessários modelos matemáticos que representem na unidade de tempo o avanço da carbonatação do concreto, permitindo estimar a vida útil das estruturas em ambientes urbanos, principalmente. Para mensurar esse fenômeno os ensaios precisam ser por meios acelerados.

O comitê Brasileiro junto com a Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT), está elaborando normas relativas aos ensaios de carbonatação. Nos ensaios acelerados

de laboratório dirigindo a indução de carbonatação, a sugestão é a realização de um condicionamento dos corpos de prova e amostras antes do início do ensaio, submetidos à ação do CO<sub>2</sub>. Primeira etapa é a pré-secagem e a segunda visa à distribuição da umidade uniforme no corpo de prova. Tendo como esse processo de condicionamento a padronização necessária e conhecimento do estado hídrico de cada amostra antes do ensaio de carbonatação.

Essas ações de normatizações são de extrema importância para padronizar o ensaio de indução acelerada de carbonatação, permitindo uma comparação de resultados mais adequada com níveis nacionais, e quando se almejar comparar resultados brasileiros com os dados internacionais. Isto permite a correção também de alguns excessos, como a execução de um alto grau de aceleração do processo, provocando mudança no mecanismo de carbonatação natural.

Há padrão de ensaio de carbonatação estabelecido pela norma ASTM E632, de 1987 pelos Americanos e posteriormente publicada também a norma ISO 6241 de 1984, com conceitos similares. Aplica-se melhor aos estudos de produtos orgânicos, mas de qualquer modo, considerando o grande desenvolvimento de métodos de ensaios acelerado, é possível que futuramente venha a ser mais utilizado no projeto e construção de estruturas de concreto.

O mecanismo de degradação no ensaio acelerado difere das condições reais, mas podem ser usados para estimar a vida útil do concreto. Em velocidades diferentes, se a degradação avançar da mesma forma, pode-se determinar um coeficiente de aceleração K (equação 2).

$$K = \frac{T_{ea}}{T_{cr}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

$K - k_{cl} - k_{CO_2}$  - Coeficiente de penetração de cloretos ou de penetração de CO<sub>2</sub> (m.s<sup>-1/2</sup>);

$T_{ea}$  = taxa de degradação pelo ensaio acelerado;

$T_{cr}$  = taxa de degradação em condições reais.

Possan (2004), verificou a correlação entre concretos moldados, sem e com adição de sílica ativa, realizada em ensaios de forma acelerada, através do mesmo concreto exposto por sete anos em ambiente natural protegido de chuva, todos com a/c alta, acima de 0,8.

Os corpos de prova foram submetidos a um ensaio acelerado de carbonatação em uma câmara por 14 semanas com concentração de CO<sub>2</sub> igual a 5%. 14 dias de ensaio acelerado correspondem a cerca de 420 semanas, mais de 8 anos em exposição em atmosfera natural, ou seja, apresentam coeficiente de aceleração da ordem de 30. Assim, optou-se por seguir este procedimento como referência para os ensaios de carbonatação acelerada.

Inicialmente os corpos de prova foram colocados em uma câmara de carbonatação vedada para aprisionar  $\text{CO}_2$  em alta concentração. A quantidade de gás e a sub-pressão são controladas por reguladores de pressão.

Para fazer os primeiros ensaios e ajustes na câmara (figura 8) foram moldados corpos de prova de concreto no tamanho 100x200mm, no total de 12 corpos de prova, sendo metade para ensaio de compressão e a outra metade de carbonatação. Os ensaios de compressão e carbonatação desses corpos de prova foram realizados após os 28 dias de idade.

Figura 8 – Câmara utilizada para realização dos ensaios de carbonatação acelerada



Fonte: Autoras (2019).

Os corpos de provas foram colocados no interior da câmara, e com ela lacrada o sistema passou por fluxos intercalados de vácuo e gás carbônico, garantindo a alta concentração de  $\text{CO}_2$ . Este procedimento é necessário, pois se busca a uma concentração de  $\text{CO}_2$  superior que a 95%.

Depois de 14 dias de exposição, os corpos de prova foram retirados da câmara e rompidos em dois planos para medir a profundidade de carbonatação no concreto. Como mostra a figura 9.

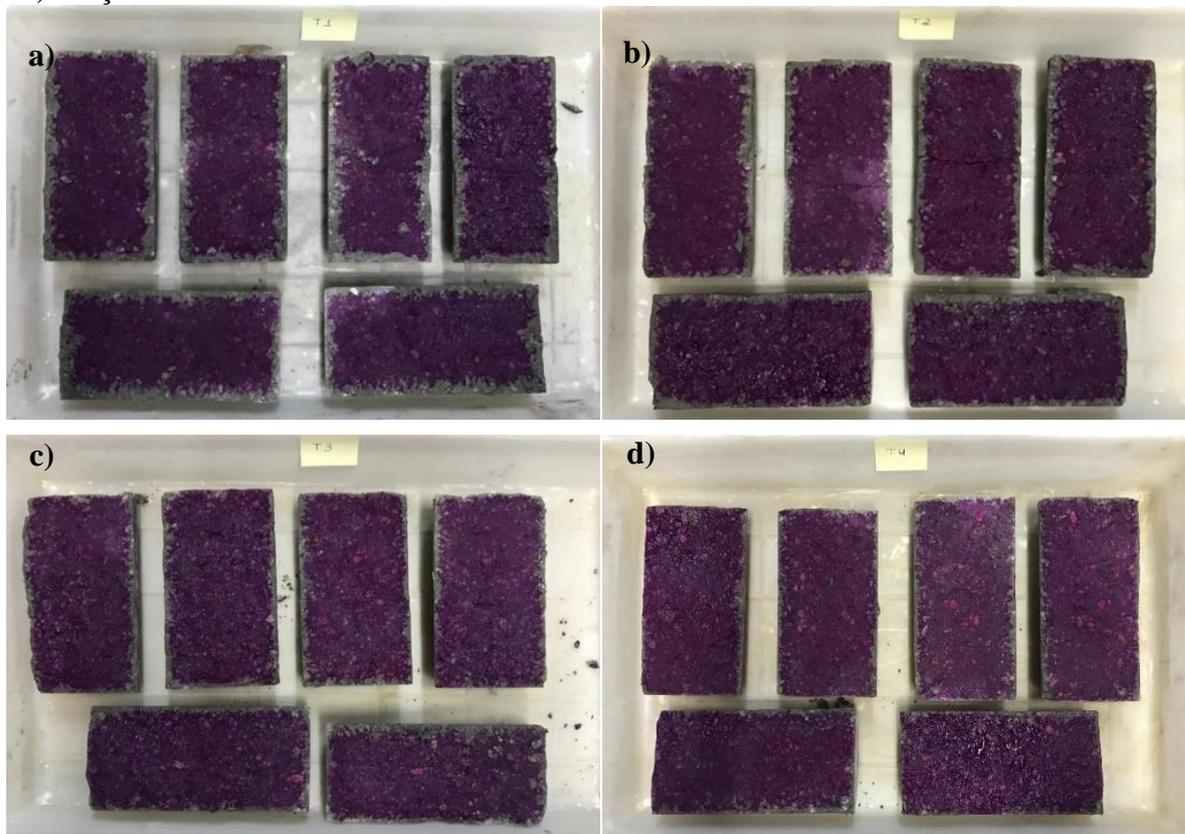
Figura 9 – Rompimento à compressão diametral dos corpos de prova para determinação da penetração de cloreto e de CO<sub>2</sub>



Fonte: Autoras (2019).

Em um plano transversal da primeira ruptura, foram feitas medidas nas duas faces expostas. Posteriormente, foi realizada a aspensão de fenolftaleína para possibilitar a medida da profundidade carbonatada com o auxílio de um paquímetro. A figura 10 mostra a frente de carbonatação para os diferentes traços investigados.

Figura 10 – Corpos de prova após aplicação da fenolftaleína. a) Traço 1. b) Traço 2. c) Traço 3. d) Traço 4



Fonte: Autoras (2019).

Os outros procedimentos de medição como pressão na câmara e temperatura, seguiram as orientações de RILEM (1988).

#### 3.1.2.4 Ensaio de penetração dos cloretos

O ensaio foi executado para a avaliação da penetração acelerada do cloreto em concretos com relações água/cimento distintas. O método utilizado foi o especificado pela C 1202 (ASTM, 2019), que consiste em acoplar um corpo de prova cilíndrico, de 100mm de diâmetro e 50 mm de espessura no centro de um recipiente sendo vedado ambos os lados. Um lado contendo uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), com concentração de 0,3N, e o outro lado uma solução de cloreto de sódio (NaCl), com 3% de concentração. Contudo, como foi mensurada a profundidade de penetração optou-se por alterar o comprimento do corpo de prova para 100 mm.

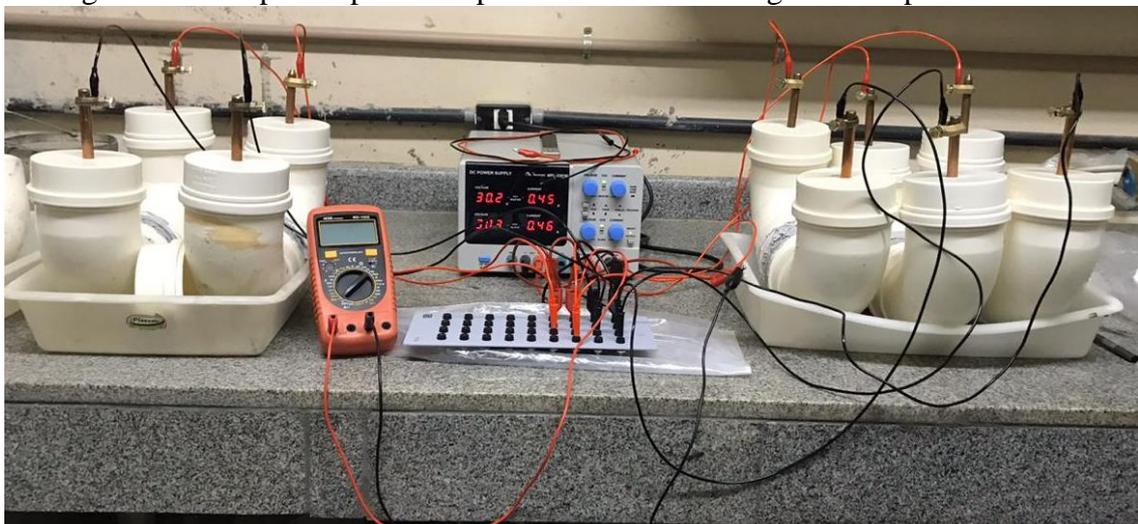
A corrente elétrica que induz o ânion cloretos a se difundir através do concreto sob a ação de um campo elétrico é originada pela diferença de potencial entre meias-células com valor de  $60\pm 0,1$  V. Ela é registrada em intervalos de sessenta minutos por meio de amperímetros, tendo o ensaio uma duração de seis horas.

Os procedimentos do ensaio foram os seguintes:

a) Dois dias antes da data de realização do ensaio, os corpos de prova cilíndricos foram retirados da câmara úmida e serrados em três partes perpendiculares ao eixo, sendo descartadas as extremidades e utilizadas as faces centrais;

b) Um dia antes da realização do ensaio, as amostras foram acopladas entre canos PCV e fixadas com silicone, para serem submetidas a uma diferença de potencial (figura 11).

Figura 11 – Corpos de prova acoplados no cano PVC ligados no aparato elétrico



Fonte: Autoras (2019).

No 28º dia foi montado o aparato elétrico que viabiliza o ensaio. Foi feito em duas etapas, na primeira foram ensaiadas 6 amostras, 3 corpos de prova de dois traços, com seis horas de duração e a segunda com mais 6 corpos de prova, 3 dos outros dois traços. Sendo necessária para a emissão da corrente uma fonte alimentadora (DC POWER SUPPLY, minipa MPL 3303M) e para medir a corrente passante foram utilizados seis multímetros (ICEL manaus, MD 1500) registrando a corrente a cada uma hora.

Com o ensaio realizado da penetração acelerada dos íons de cloreto (C 1202 (ASTM, 2019), os corpos de prova foram rompidos à compressão diametral e, em seguida, foi aspergido nitrato de prata, verificando profundidade da penetração de cloretos (figura 12).

Figura 12 – Amostras após aplicação do nitrato de prata. a) Traço 1. b) Traço 2. c) Traço 3. d) Traço 4



Fonte: Autoras (2019).

Utilizando o aparato para ensaio de resistência a compressão tornou-se necessário o rompimento central das amostras.

### 3.1.2.5 Previsão de vida útil

A vida útil das estruturas de concreto passou a ser expressa em números de anos e não mais em critérios apenas qualitativos de sua adequação a certo grau de exposição a partir

da revisão da NBR 6118 de 2003. Helene (2004) apresenta 4 métodos de previsão de vida útil, com base nas experiências anteriores; com base em enfoque determinista; com base em enfoque estocástico ou probabilista e com base em ensaios acelerados.

Como a degradação das estruturas de concreto é relativamente lenta, considerando o interesse nos resultados para aplicação prática, nesta pesquisa, foi utilizado o conceito dos métodos acelerados com base em ensaios de laboratório para determinação da vida útil dos concretos investigados para ambientes urbanos e ambientes marinhos.

#### *3.1.2.5.1 Método de previsão de vida útil com base em ensaios acelerados*

Com base nos ensaios acelerados pode-se determinar a vida útil das estruturas de concreto utilizando a equação 3.

$$x = k \cdot \sqrt{t} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

x = profundidade atingida por um determinado teor de cloretos no tempo t (m)

t = tempo (s)

k = coeficiente de penetração de cloretos ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1/2}$ )

O valor de k pode ser determinado tanto para penetração de cloretos  $k_{Cl}$  quanto para carbonatação  $k_{CO_2}$ . Para a penetração de cloretos, aceita-se que a corrosão iniciará quando o teor de cloretos ficar maior que 0,3% (CALÇADA, 2004). Já a corrosão por carbonatação se inicia quando o pH ao redor da barra de aço ficar menor que 9 (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

Assim, com base nestas relações foram estimados os prazos de vida útil para os diferentes concretos empregados, considerando as espessuras de cobertura estabelecidas pelo NBR 6118 (ABNT, 2014) para as diferentes classes de agressividade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa. Estes foram organizados de acordo com as etapas propostas no capítulo 3 – Etapa 1: aqueles obtidos com a aplicação dos questionários mostrados nas figuras 5 e 6; Etapa 2: aqueles obtidos através dos ensaios de laboratório.

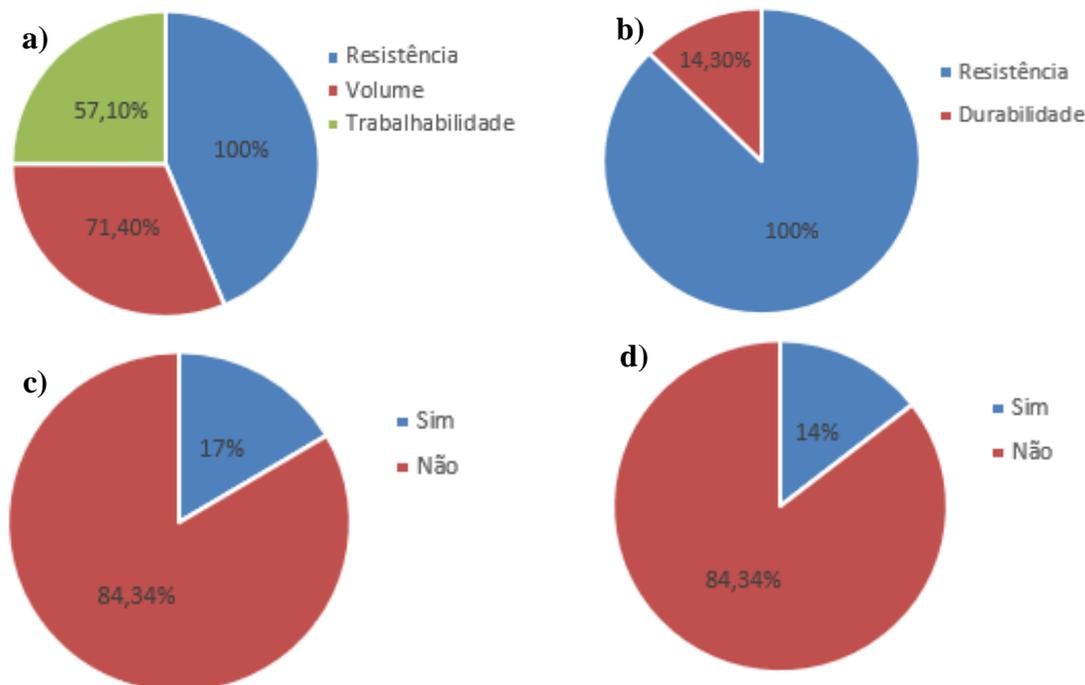
### 4.1 RESULTADOS ETAPA 1

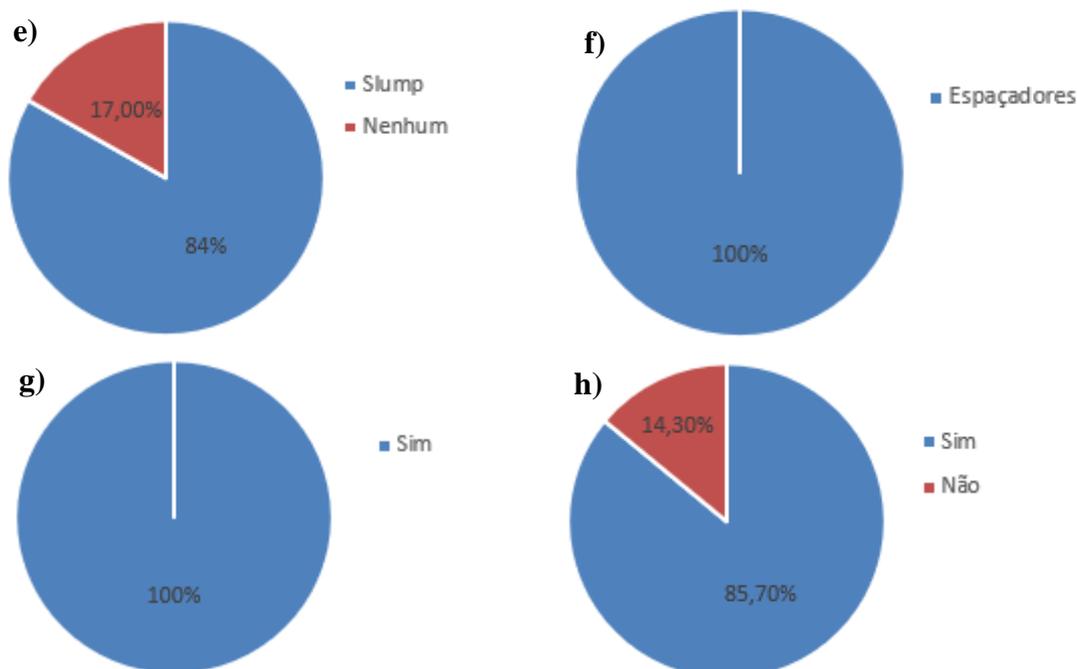
Este item é composto dos resultados obtidos pela aplicação dos questionários conforme apresentado no item 3.1.1.

#### 4.1.1 Respostas construtoras

A figura 13 apresenta os resultados das respostas da aplicação do questionário da figura 5 respondido por 10 construtoras da região da AMUREL.

Figura 13 – Respostas das construtoras. a) Quais os parâmetros exigidos para a compra do concreto? b) O pedido do concreto é realizado em função da resistência e/ou durabilidade? c) É realizado algum controle tecnológico da durabilidade do concreto, qual? d) No projeto está especificado a durabilidade do concreto? e) Quais os ensaios realizados antes da concretagem? f) Como é garantido o cobrimento das armaduras? g) Na sua opinião o controle de durabilidade do concreto é necessário? h) Você tem conhecimento sobre as exigências da NBR 6118?





Fonte: Autoras (2019).

Para a compra do concreto 100% dos entrevistados responderam que a resistência é um parâmetro exigido, 71,4% acrescentaram como exigência o volume do concreto e 57,1% incluíram na sua resposta a trabalhabilidade. Os entrevistados afirmam que o pedido do concreto é realizado em função da resistência e dentre eles 14,3% acrescentou a durabilidade. Conseguimos observar através das respostas uma confusão nos conceitos de durabilidade e resistência. Levando em conta os conceitos obtemos que 84,34% dos entrevistados não realizam controle da durabilidade e 16,66% afirmam controlar. Uma das respostas obtidas considerada relevante à pergunta foi de esclarecer que o controle realizado é através do uso de bons agregados que atendem os requisitos da norma e redução ao máximo o fator a/c dos concretos, sendo trabalhados com a máxima compacidade possível, sobre o controle da durabilidade, ficando a critério dos engenheiros calculistas especificar concretos que atendam o grau de agressividade em que a estrutura vai estar exposta.

Quando questionados sobre os ensaios realizados antes da concretagem 84,34% dos entrevistados afirmaram realizar teste do Slump e 16,66% afirmam que não realizam ensaios. Em relação ao cobrimento das armaduras todos os entrevistados responderam que utilizam espaçadores para garantir o cobrimento das armaduras, como complemento da resposta alguns alegam inspeção das ferragens antes da concretagem.

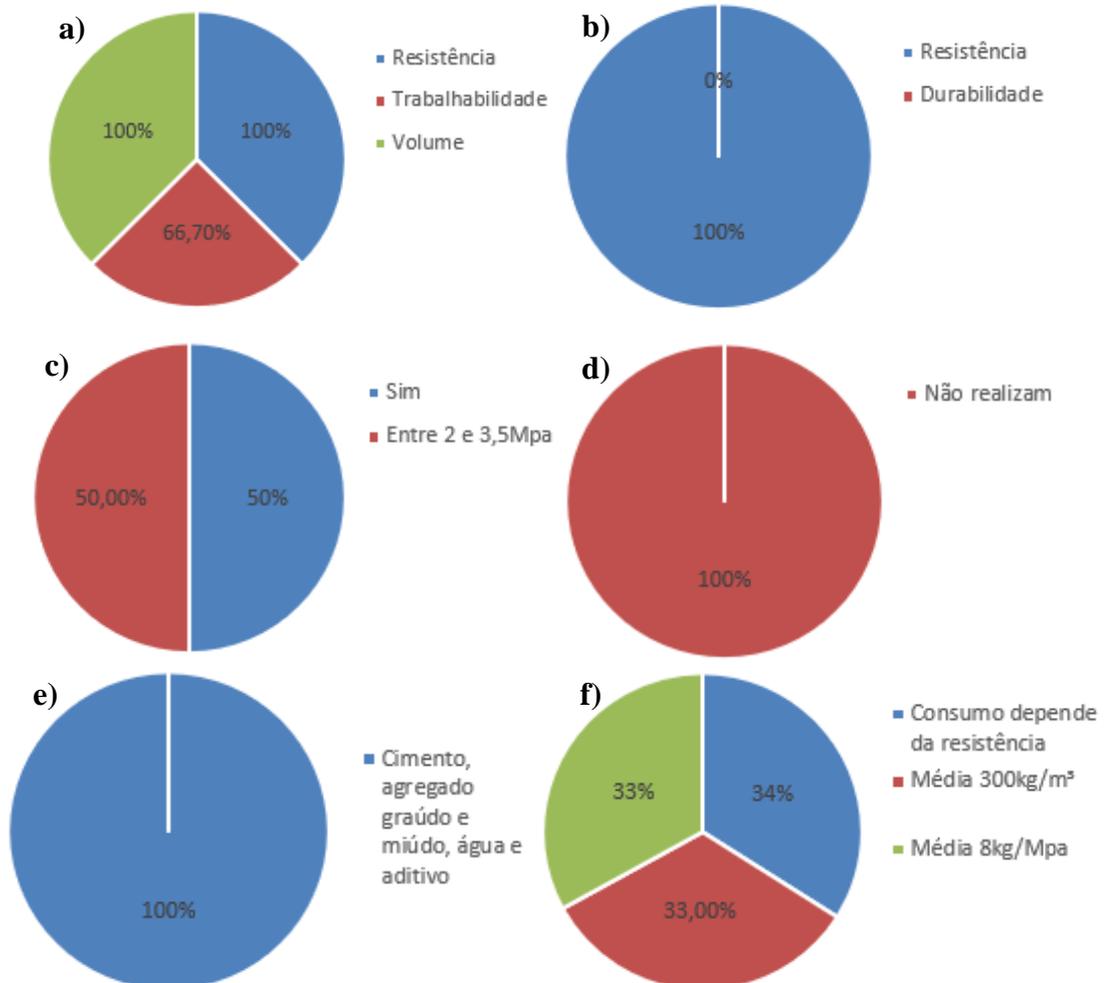
Para concluir foi perguntado se o controle de durabilidade do concreto é necessário e todos os entrevistados responderam que sim, uma resposta teve a observação de que o controle

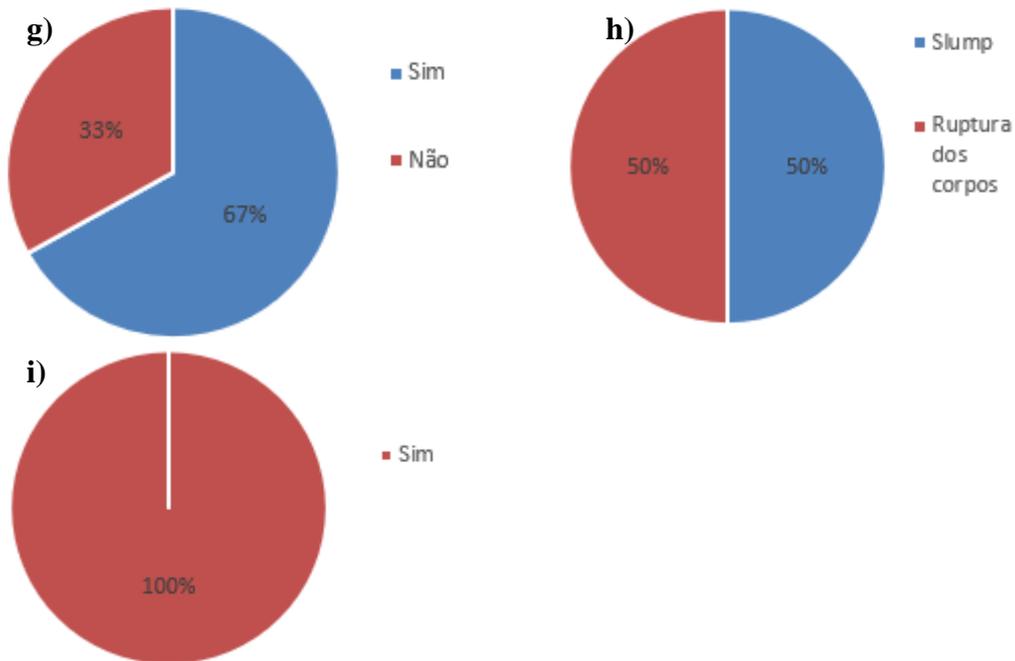
de durabilidade é pouco executado e outra alega que a durabilidade é necessária para garantir a vida útil de projeto.

#### 4.1.2 Respostas CDC

A figura 14 apresenta os resultados da aplicação do questionário da figura 6 respondido pelas Centrais Dosadoras de Concreto.

Figura 14 – Respostas das CDC. a) Quais os parâmetros que os clientes solicitam no pedido do concreto? b) O estudo de dosagem é realizado em função da? c) Qual a dispersão dos níveis de resistência? Mais que 2Mpa de desvio padrão? d) Qual o controle tecnológico da durabilidade do concreto? e) Quais os materiais utilizados na fabricação do concreto? f) Qual o consumo de cimento utilizado para cada nível de resistência do concreto? g) Com base na pergunta anterior o consumo de cimento atende a NBR 6118? h) Como é realizado o controle e garantia da qualidade do concreto? i) Na sua opinião o controle de durabilidade do concreto é necessário?





Fonte: Autoras (2019).

No pedido do concreto 100% dos clientes solicitam resistência à compressão e volume, dentre eles 66,7% solicitam a trabalhabilidade do concreto. Todos os entrevistados afirmam que o estudo de dosagem é realizado em função da resistência à compressão. Em relação à dispersão dos níveis de resistência obteve-se respostas de que isto varia de 2MPa até 5MPa e desvio padrão de 2MPa até 3,5MPa.

Um dado importante é que todos os entrevistados afirmam não realizar ensaios para controle de durabilidade. Quando questionados sobre os materiais utilizados na fabricação do concreto foram apontados os seguintes materiais: Cimento, agregado graúdo e miúdo, água, areia fina e média, aditivos, aditivos redutores de água. O consumo de cimento utilizado para cada nível de resistência do concreto encontramos média de 300kg/m<sup>3</sup> e 8kg/MPa de cimento. Dos entrevistados 66,7% afirma que o consumo de cimento atende a NBR 6118 e 33,3% afirma que não.

Os entrevistados informaram que o controle e garantia da qualidade do concreto é realizado através de ensaios como o slump test antes da concretagem e pela ruptura dos corpos de prova retirados na descarga do material amostrados parcialmente. Quando questionados sobre a necessidade do controle de durabilidade do concreto, todos os entrevistados responderam que sim – é necessário.

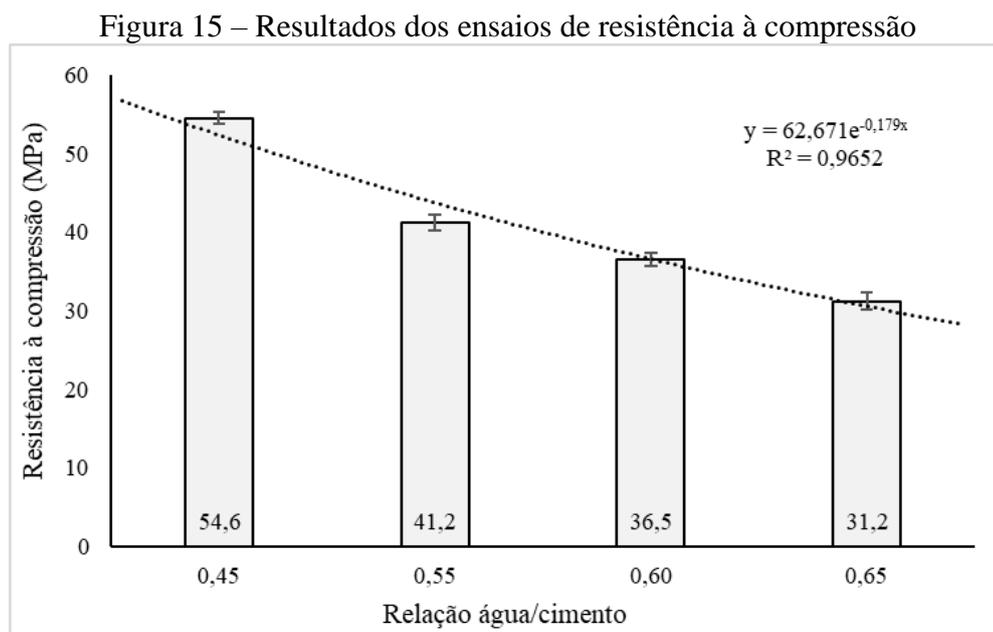
## 4.2 RESULTADOS ETAPA 2

Na etapa 2 foram realizados dois ensaios acelerados, sendo eles ensaios de penetração dos cloretos e ensaio de carbonatação. Também foram realizados ensaios de determinação da resistência à compressão.

### 4.2.1 Resultados dos ensaios de compressão axial

Como foi apontado que o parâmetro de dosagem do concreto utilizado pelas CDC é a resistência à compressão, foram produzidos em laboratório 4 traços com a/c e consumo de cimento de acordo com as classes de agressividade da NBR 12655 e NBR 6118.

A figura 15 mostra os resultados das médias dos ensaios de compressão, representada pelas barras, e o desvio padrão, representado pela barra de erros.



Fonte: Autoras (2019).

A tabela 15 apresenta os resultados dos ensaios de compressão e as relações obtidas através da aplicação da equação apresentada na figura 15, que segue a lei de Abrams.

Tabela 15 – Relação dos fatores água/cimento necessários para atender às resistências das classes de agressividade estabelecidas pela NBR 6118

CAA	fck	fc <sub>m</sub> *	a/c efetivo	a/c NBR 6118
I	20	23,3	0,813	0,65
II	25	28,3	0,737	0,60
III	30	33,3	0,674	0,55
IV	40	43,3	0,572	0,40

\*Considerando um desvio padrão de 2 MPa e 1,65 como valor da tabela z de probabilidade.

Fonte: Autoras (2019).

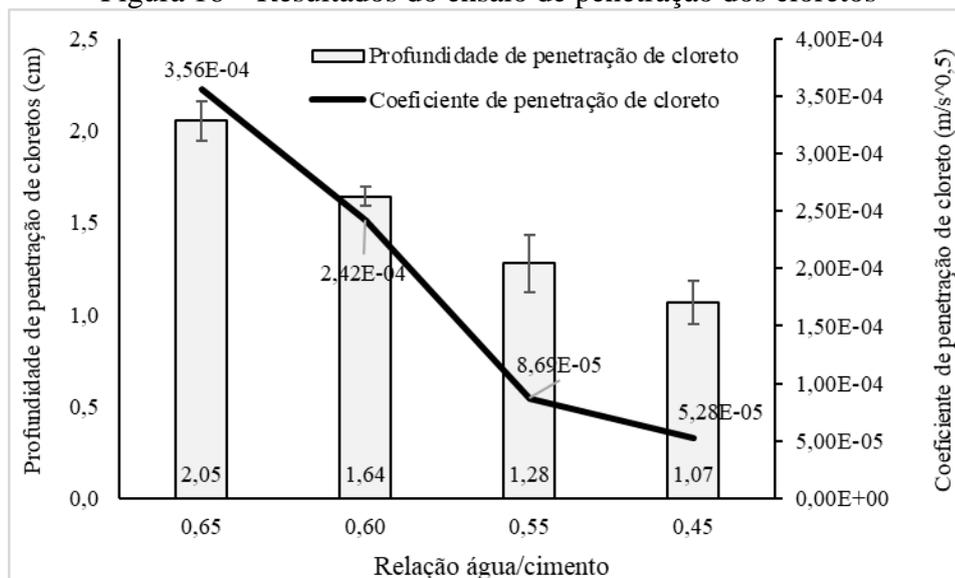
Pode-se perceber que as relações água/cimento, para esta família de concreto convencional, necessária para atender à resistência das classes de agressividade da NBR 6118 (ABNT, 2014) são muito mais altas do que aquelas especificadas por esta norma para os cada uma das classes de agressividade.

Com base nestes resultados foram realizadas análises quanto à penetração de cloreto e à vida útil dos concretos com relação à penetração de cloretos e à carbonatação do concreto.

#### 4.2.2 Resultados ensaio de penetração de cloretos

Após a realização do ensaio migração de cloretos foram determinadas as penetrações de cloretos para cada fator água/cimento referentes às classes de agressividade. Os resultados obtidos estão em centímetros e podem ser observados na figura 16.

Figura 16 – Resultados do ensaio de penetração dos cloretos



Fonte: Autoras (2019).

Pode-se observar na figura 16 que o coeficiente de penetração de cloreto apresenta relação inversa ao fator água/cimento. Então, a tabela 16 apresenta os resultados da frente de

penetração de cloreto para os diferentes traços produzidos. Os resultados de previsão da frente de cloretos são para 50 anos, idade mínimo de durabilidade estabelecida pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Tabela 16 – Previsão do ingresso de cloreto através do coeficiente de penetração de cloreto para o a/c estabelecido pela NBR 6118 (concreto produzido)

CAA	a/c NBR 6118	Coeficiente de penetração de cloretos K (m/s <sup>0,5</sup> )	Posição da frente de cloreto após 50 anos (cm)
I	0,65	3,56E-04	14,14
II	0,60	2,42E-04	9,61
III	0,55	8,69E-05	3,45
IV	0,45	5,28E-05	2,10

Fonte: Autoras (2019).

Conforme os dados apresentados na tabela 16 pode-se perceber que as frentes de cloretos para as diferentes classes de agressividades estão condizentes com os valores de cobertura estabelecidos para as classes III e IV – classes de agressividade que consideram cloretos no ambiente.

Para determinar a previsão da frente de cloreto dos concretos produzidos seguindo os conceitos aplicados pelas CDC da região, foram determinados os coeficientes de penetração de cloreto por regressão linear e utilizados os fatores água/cimento determinados pela curva de Abrams da figura 16. Estes resultados de previsão da frente de cloretos para 50 anos estão apresentados na tabela 17.

Tabela 17 – Previsão do ingresso de cloreto através do coeficiente de penetração de cloreto para o a/c efetivo

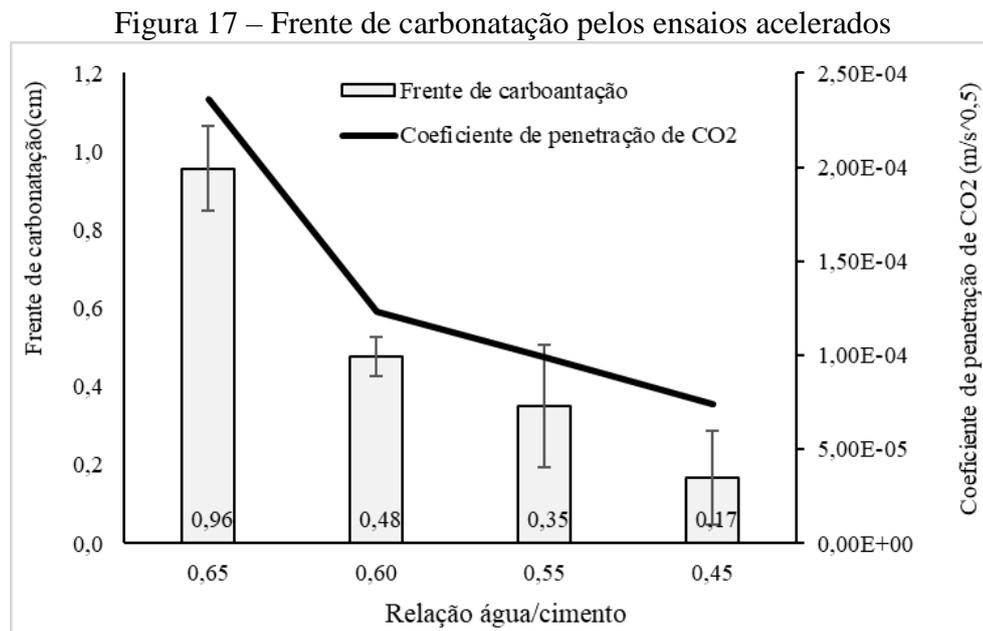
CAA	a/c efetivo	Coeficiente de penetração de cloretos K (m/s <sup>0,5</sup> )	Posição da frente de cloreto após 50 anos (cm)
I	0,813	5,19E-04	20,62
II	0,737	4,06E-04	16,12
III	0,674	3,11E-04	12,35
IV	0,572	1,58E-04	6,28

Fonte: Autoras (2019).

Como observa-se na tabela 17, utilizando os conceitos de dosagem partindo da resistência à compressão das classes estabelecidas pela NBR 6118 (ABNT, 2014) foram apresentadas falhas quanto à garantia da durabilidade. Havendo a necessidade da especificação de ensaios de previsão de vida útil que devem ser parâmetros de dosagem.

### 4.2.3 Resultados ensaio de carbonatação

Neste item são apresentados os resultados dos ensaios de carbonatação acelerados realizados para os 4 traços investigados nesta pesquisa. A figura 17 ilustra os resultados de frente de carbonatação representados pelas barras, contendo o desvio padrão de cada traço representado pela barra de erros. O coeficiente de penetração de CO<sub>2</sub> é representado pela linha na cor preta.



Fonte: Autoras (2019).

Com base nos dados apresentados na figura 17 pode-se observar que penetração de CO<sub>2</sub> é inversamente proporcional à relação água/cimento.

Assim, para verificar as especificações da NBR 6118 estão em acordo com a durabilidade requerida para as diferentes classes de resistência relacionadas com as classes de agressividade. A tabela 18 apresenta a previsão da frente de CO<sub>2</sub> para a idade de 50 anos para os 4 traços investigados.

Tabela 18 – Previsão do ingresso de cloreto através do coeficiente de penetração de CO<sub>2</sub> para o a/c efetivo

CAA	a/c NBR 6118	Coefficiente de carbonatação - K (m/s <sup>0,5</sup> )	Posição da frente de CO <sub>2</sub> após 50 anos (cm)
I	0,65	2,36E-04	9,37
II	0,60	1,23E-04	4,88
III	0,55	9,87E-05	3,92
IV	0,45	7,42E-05	2,95

Fonte: Autoras (2019).

Como se pode observar na tabela 18 as frentes de CO<sub>2</sub> em 50 anos são maiores que os cobrimentos (tabela 3) para as classes I e II – consideradas pela NBR 6118 que são ambientes que possuem CO<sub>2</sub> como agente de corrosão.

Assim, para avaliar a situação para as condições de dosagem de concreto pelo nível de resistência – como as CDC informaram que fazem, foram construídas correlações, mínimos quadrados, para obtenção dos coeficientes de migração para as relações água/cimento para as resistências estabelecidas como mínima para cada classe de agressividade. A tabela 19 apresenta a previsão de penetração de CO<sub>2</sub> para 50 anos.

Tabela 19 – Previsão do ingresso de cloreto através do coeficiente de penetração de CO<sub>2</sub> para o a/c efetivo

CAA	a/c efetivo	Coeficiente de carbonatação - K (m/s <sup>0,5</sup> )	Posição da frente de CO <sub>2</sub> após 50 anos (cm)
I	0,813	2,69E-04	10,68
II	0,737	2,16E-04	8,58
III	0,674	1,72E-04	6,82
IV	0,572	1,00E-04	3,99

Fonte: Autoras (2019).

Como pode-se observar na tabela 19, os valores de previsão da frente de carbonatação estão maiores que os valores de cobrimento estabelecidos pela NBR 6118 (tabela 3). Isso mostra que, como para ambientes com presença de cloretos, para garantir os 50 anos de vida útil, há a necessidade do estabelecimento de ensaios de previsão da vida útil como parâmetro de dosagem devido à expressiva frente de penetração de CO<sub>2</sub>, que dará início à desativação da armadura e comprometerá a plena funcionalidade da estrutura.

#### 4.3 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A NBR 6118 que trata de projetos de estrutura de concreto, apresenta parâmetros que buscam garantir a vida útil das estruturas para diferentes ambientes. Contudo, esta norma, e as por ela citadas, não especificam a realização de ensaios que garantam a mensuração, por meio de ensaios padronizados, a real previsão da vida útil das estruturas de concreto.

Com a aplicação dos questionários é possível identificar que durabilidade das estruturas não é um fator *preocupante* no pedido do concreto, segundo as CDC os materiais utilizados para a produção do concreto atendem ao estabelecido pela NBR 12655 e suas citadas para produção de concreto. Contudo, não são realizados ensaios que verifiquem a durabilidade

do concreto por elas produzido. Em relação ao cobrimento das armaduras que é um dos pontos mais importantes para atender à durabilidade, todas as construtoras entrevistadas, afirmam que utilizam espaçadores de plástico para garantir o cobrimento, porém o uso desse acessório não é a melhor opção, segundo estudos realizados por Barreto (2014), quando estão expostos a ambientes contendo cloretos os espaçadores servem como caminho para penetração do agente degradador.

Com base nos ensaios realizados pode-se observar que os cuidados tomados tanto no pedido quanto na produção do concreto são voltados exclusivamente para os parâmetros mecânicos das estruturas. Observa-se que não são atendidos, mesmo que ainda questionáveis e até falhos, os parâmetros de consumo de cimento mínimo e relação água cimento máximos para as diferentes classes de agressividade. Devendo a NBR 6118 e suas citadas tratarem, em seus próximos textos, de parâmetros para o estabelecimento de um estado limite de durabilidade. Necessitando assim, da especificação de ensaios de durabilidade para que esta propriedade de extrema importância seja devida conhecida e controlada.

## 5 CONCLUSÃO

A durabilidade das estruturas de concreto é uma propriedade relativamente nova para as especificações em projetos para estas estruturas brasileiras, mesmo que pesquisada há muito tempo nos grandes centros de pesquisa do Brasil. Assim, esta pesquisa teve como objetivo investigar a vida útil e durabilidade do concreto armado, das especificações das normas de projeto frente às práticas empregadas no mercado para produção de concreto. Está associada à garantia e durabilidade das estruturas de concreto, a fim de se obter, mais segurança para os usuários e atender à vida útil especificada em norma das construções brasileiras.

Para o desenvolvimento da pesquisa considerou-se necessária a realização de duas etapas principais. Sendo a primeira, a elaboração de questionários específicos para as construtoras e para as CDC, de forma a possibilitar o entendimento de como são especificados os concretos durante as compras e durante a produção do concreto. A segunda etapa foi destinada à realização de ensaios laboratoriais, apresentando métodos avaliativos dos indicadores de durabilidade dos concretos utilizados na cidade de Tubarão (Classe I e II) e Laguna (Classe III e IV), sendo ensaios de carbonatação e penetração de cloretos – acelerados, no concreto, tendo uma previsão de vida útil por modelos matemáticos consagrados.

Os resultados mostram que os pedidos de compra do concreto especificam basicamente, trabalhabilidade do concreto (em alguns casos), resistência à compressão e volume de concreto. Já as CDC atendendo às solicitações do mercado, dosam seus concretos para os níveis de resistência solicitados pelos seus clientes, não realizando ensaios que verifiquem a durabilidade dos concretos por elas produzidos. Através dos ensaios realizados foi possível identificar que há necessidade de ajuste nos parâmetros estabelecidos pela NBR 6118 e suas citadas, visto que os resultados dos ensaios de durabilidade mostraram que os concreto dosados pelos níveis de resistência não atendem o mínimo de 50 anos da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que existe a necessidade da conscientização dos *compradores de concreto*, dos projetistas e dos produtores de concreto. Uma vez que há falhas de conceitos empregados em todas as partes. Projetos que não trazem parâmetros de durabilidade, compradores que não atentam para este parâmetro, e produtores que seguem as tendências do mercado e não buscam atender, por mais que saibam da existência de falhas, os parâmetros de durabilidade estabelecidos em norma. Em relação às normas brasileiras de projetos e execução de estrutura de concreto, e produção e controle de concreto para estruturas, devem trazer em seus textos futuros ensaios e parâmetros de vida útil.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, T.. **Considerações sobre durabilidade, patologia e manutenção das estruturas.**2006. 14 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2006.
- ASSOSSIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. ABNT, Brasil, 2015.
- ASSOSSIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais - Desempenho. ABNT, Brasil, 2013.
- ASSOSSIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento. ABNT, Brasil, 2014.
- BARRETO, M. F. F. M.. **Avaliação de desempenho de espaçadores plásticos: proposição e avanço de métodos de avaliação.** 2014. 116 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto.
- BARRETO, Maria Fernanda Fávero Menna. **Avaliação de desempenho de espaçadores de plásticos: proposição e avanço de métodos de avaliação.** 2014. 116 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto.
- BOLINA, F.; TUTIKIAN, B.. Specification faced with durability to meet superior level of performance in structural elements buried. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.275-296, abr. 2016. FapUNIFESP (SciELO).
- BORDUN, R. F.. **Manifestações patológicas em estrutura de concreto armado um estudo de caso:** (Bloco administrativo da UTFPR - Pato Branco). 2014. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.. **Metodologia científica.** São Paulo: Makron Books, 1996.
- DEMO, P.. **Pesquisa e construção de conhecimento:** metodologia científica no caminho de Habermas. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.
- G1: Edifício em construção Real Class desaba em Belém.** Pará, 29 jan. 2011.
- G1: Queda de viaduto em BH durante a Copa do Mundo no Brasil completa 4 anos.** Belo Horizonte, 03 jul. 2018.
- GOMES B. F. E.; LOBO, R.; SOUSA; F. C.. Durabilidade e vida útil de estruturas de concreto. **III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia E Desenvolvimento**, 2014, Taubaté.
- GONÇALVES, E. A. B.. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações.** 2015. 157 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- GUILHERME, G.; MORONI, F.; VIEIRA, G.; RONCETTI, L.. **Avaliação da penetração acelerada de cloretos em concretos com aditivo impermeabilizante por cristalização e diferentes relações água/cimento.** 2015. Disponível em: <<http://techcon.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/Avalia%C3%A7%C3%A3o-da-penetra%C3%A7%C3%A3o-acelerada-de-cloretos-em-concretos-com-aditivo-impermeabilizante-por->

cristaliza%C3%A7%C3%A3o-e-diferentes-rela%C3%A7%C3%B5es-%C3%A1gua-cimento.pdf>. Acesso em: 8 set. 2015.

GUIMARÃES, L. E.. **Avaliação comparativa de grau de deterioração de edificações – Estudo de caso:** Prédios pertencentes à universidade federal de goiás. 2003. 265 f. Dissertação (Mestrado)-Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

HELENE, P. R. L.. **A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto.** 2014. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/185.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

HELENE, P. R. L.. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** 2. ed. São Paulo: PINI, 1992. 47 p. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAhUbcAI/manual-reparo-reforco-protacao-estruturas-concreto>>. Acesso em: 20 maio 2019.

Instituto brasileiro de avaliações e perícias de engenharia - IBAPE. **Norma de inspeção predial nacional.** São Paulo, 2012. 17 p.

JOHN. V. M ; N. M. K. SATTO. Construção e meio ambiente. In: SATTTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. Durabilidade de componentes da construção. Porto Alegre: **Coleção Habitare**, 2006. p.21-54.

JORNAL O POVO. **Parte de banheiro de um prédio no bairro Guararapes desaba.** Fortaleza-CE, 20 jun. 2016. Disponível em: <<https://www.opovo.com.br/noticias/fortaleza/2016/02/parte-de-banheiro-de-um-predio-no-bairro-guararapes-desaba.html>>. Acesso em: 13 maio 2019.

JUS BRASIL: **Desabamento de prédio construído por Sérgio Naya completa 11 anos domingo.** Rio de Janeiro, 20 fev. 2009.

KELCH, B.. **Como definir a vida útil de projeto segundo a NBR 15.575.** Pituba, 2016. 26 slides, color. Seminário de normas técnicas. Disponível em: <<https://www.sinduscon-ba.com.br/conteudo/pub/003/cont/002833/002833.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

LAPA, J. S.. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto.** 2008. 56 f. Monografia (Especialização)–Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LIMA JÚNIOR, G. L.. **Principais alterações na NBR 6118:2014 e seus impactos em edificações de pequeno porte.** 2017. 1 v. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação em Projeto Estrutural de Edifícios em Concreto Armado e Protendido – PEECAP, Instituto de Ensino Superior Planalto – Iesplan, Brasília, 2017.

LINHARES, B. T.. **Avaliação do desempenho de cimentos CII E e CII F com diferentes teores de pozolanas frente ao ataque de íons sulfato.** 2010. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MATTOS, M. C.. **Planejamento da vida útil na construção civil [manuscrito] : uma metodologia para a aplicação da Norma de Desempenho (NBR 15575) em sistemas de revestimentos de pintura.** 2013. 218 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte, 2013.

MEDEIROS JUNIOR, R. A.; LIMA, M. G.. **Correlação entre o coeficiente de difusão e a corrente elétrica durante ensaio multiregime de migração de cloretos.** 2014. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/273188841\\_Correlacao\\_entre\\_o\\_coeficiente\\_de\\_diffusao\\_e\\_a\\_corrente\\_eletrica\\_durante\\_ensaio\\_multiregime\\_de\\_migracao\\_de\\_cloretos\\_doi\\_105216reecV9i332038](https://www.researchgate.net/publication/273188841_Correlacao_entre_o_coeficiente_de_diffusao_e_a_corrente_eletrica_durante_ensaio_multiregime_de_migracao_de_cloretos_doi_105216reecV9i332038)>. Acesso em: 12 nov. 2014.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. R. L.. **Concreto: Ciência e Tecnologia: Capítulo 22 - Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. São Paulo: IBRACON, 2011. 37 p.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. R. L.. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Concreto: Ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 22. p. 773-808.

MONTARDO, J. P. (Ed.). **A retração do concreto**. Consolação: Júlio Portella Montardo, 2009.

MOREIRA, L. C.. **Vida útil e prazos de garantia sob a ótica da norma de desempenho – NBR 15.575 (ABNT, 2013)**. Crea-GO, 2015. Disponível em: <<http://www.creago.org.br/index.php/comunicacao/imprensa/releases/918-vida-util-e-prazos-de-garantia-sob-a-otica-da-norma-de-desempenho-nbr-15-575-abnt-2013>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A.. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. Em pauta: **Revista técnico científica do CREA-PR**, Curitiba, n.1, 2013.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico-científica do Crea-PR**: ISSN 2358-5420, 1ª Edição, p.1-14, out. 2013.

REDAÇÃO AECWEB. **As exigências da vida útil dos edifícios**. Entrevista ao Eng. Luis Carlos Pinto da Silva Filho. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/as-exigencias-da-vida-util-dos-edificios\\_5219\\_10\\_20](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/as-exigencias-da-vida-util-dos-edificios_5219_10_20)>. Acesso em: 07 abr. 2019.

ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, A. L.. Considerações sobre vida útil do concreto. **1º Encontro nacional de pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado**, V. 1, Nº 1. P. 1-12, nov, 2005.

SABAI, A.. **Problemas causados pela lixiviação do concreto**. 2017. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/os-problemas-causados-pela-lixiviacao-do-concreto/>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

SALOMÃO, M. C. F.; SILVA, T. .. **Ensaio acelerado de carbonatação do concreto**. Uberlândia: Seminário de Iniciação Científica, 2008. 10 p.

SANTOS, A.. **Revisão realça NBR 6118 como referência internacional**. 2013. Entrevista ao Engenheiro civil Alio Kimura. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/revisao-realca-nbr-6118-como-referencia-internacional/>>. Acesso em: 19 maio 2019.

SILVA, A. F. P.. **Patologias em estruturas de concreto armado: estudo de caso**. Teresina: Patorreb, 2018.

SILVA, M. R.; PINHEIRO, S. M. M.. Biodeterioração do concreto. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

**TERRA SERVIÇO: Desabamentos**. Minas Gerais, 07 jan. 2011.

**TERRA SERVIÇO: Desabamentos**. Rio de Janeiro, 30 out. 2010.

UEDA, T.; TAKEWAKA, K. Performance-based Standard Specifications for Maintenance and Repair of Concrete Structures in Japan. **Structural Engineering International**, v. 4, p. 359-366, 2007.

VIANA, D.. **Estados Limites ELU e ELS: aprenda a diferença!** Piauí, 2018.

VLADIMIROVICH, K. V.. **Carbonatação compromete a durabilidade das estruturas de concreto.** 2017. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/carbonatacao-compromete-a-durabilidade-das-estruturas-de-concreto/>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

ZEQUIM, T. M.. **Estudo dos métodos de previsão de vida útil de estruturas em concreto armado de edificações em norma brasileira e estrangeiras.** 2017. 4 f. TCC (Graduação)–Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, PA, 2017.