

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AMANDA MENDES PASSOS**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO  
CONCRETO CONVENCIONAL EM AMBIENTES  
QUIMICAMENTE AGRESSIVOS EM ESCALA  
MESOSCÓPICA**

**ANÁPOLIS / GO**

**2018**

**AMANDA MENDES PASSOS**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO  
CONCRETO CONVENCIONAL EM AMBIENTES  
QUIMICAMENTE AGRESSIVOS EM ESCALA  
MESOSCÓPICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA GODOI  
QUARESMA**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PASSOS, AMANDA MENDES

Estudo do comportamento mecânico do concreto convencional em ambientes quimicamente agressivos em escala mesoscópica.

80P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. Concreto Convencional | 2. Patologias           |
| 3. Ambiente Agressivo    | 4. Resistência mecânica |
| I. ENC/UNI               | II. Título (Série)      |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PASSOS, Amanda Mendes. Estudo do comportamento mecânico do concreto convencional em ambientes quimicamente agressivos em escala mesoscópica. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 80p. 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Amanda Mendes Passos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo do comportamento mecânico do concreto convencional em ambientes quimicamente agressivos em escala mesoscópica.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Amanda Mendes Passos

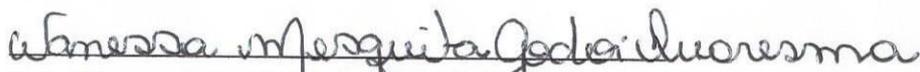
E-mail: amandampassos@icloud.com

AMANDA MENDES PASSOS

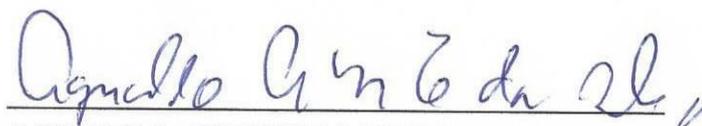
**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO  
CONCRETO CONVENCIONAL EM AMBIENTES  
QUIMICAMENTE AGRESSIVOS EM ESCALA  
MESOSCÓPICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

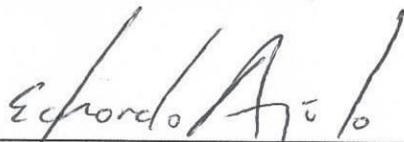
APROVADO POR:



WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)  
(ORIENTADORA)



AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)



EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 26 de NOVEMBRO de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar durante esta trajetória.

Aos meus pais pela oportunidade, amor e incentivo, sem eles nada seria possível.

Ao meu irmão por sempre estar ao meu lado.

Aos meus tios, primos e avós pelo apoio e carinho.

Aos meus amigos que caminharam comigo durante esta formação e que irão continuar presentes em minha vida.

A minha querida orientadora pelo empenho, paciência e suporte.

## RESUMO

Sendo o material construtivo de maior utilização no mundo, o concreto destaca-se por seu desempenho, economia e facilidade de assumir qualquer forma, mas este pode sofrer com diferentes manifestações patológicas que agem de diversos modos, principalmente devido aos vários ambientes em que se encontram as estruturas de concreto. Os ambientes podem conter agentes agressivos capazes de afeta-lo de maneira nociva, influenciando o desempenho, a durabilidade e podendo ocasionar a ruptura da estrutura. Frente ao exposto, o presente estudo visa analisar o comportamento mecânico do concreto em escala mesoscópica quando submetido a diferentes ambientes quimicamente agressivos após o período da desforma das peças, pois a ação dos compostos nocivos se inicia assim que as estruturas são construídas, e também encontrar possíveis soluções para as correções de tais patologias. Ocorreu o desenvolvimento de um traço de concreto simples segundo o método ACI/ABCP, utilizando cimento hidráulico Portland CP II Z 32, pois ele apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, o traço possuía uma resistência de 20 MPa, realizou-se a moldagem de 12 corpos de prova seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos de prova foram divididos em grupos e passaram pelo processo de cura de acordo com o grupo pertencente, em seguida seguiram para a simulação dos diferentes ambientes quimicamente agressivos que possuíam como reagente a água doce e a água salgada, para assim determinar como esses ambientes afetam o concreto. Posteriormente realizou-se a análise visual e mecânica através dos ensaios de compressão axial segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018) e o ensaio de tração por compressão diametral de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011) de cada corpo de prova obtendo assim o comportamento mecânico do concreto quando submetido aos diferentes ambientes agressivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Patologias. Concreto. Ambiente Agressivo. Comportamento Mecânico.

## **ABSTRACT**

As the most widely used construction material in the world, concrete stands out for its performance, economy and ease of taking on any form, but it can suffer from different pathological manifestations that act in different ways, mainly due to the various environments in which they are found the concrete structures. Environments can contain aggressive agents that can affect it in a harmful way, influencing performance, durability and may cause the structure to rupture. In view of the above, the present study aims to analyze the mechanical behavior of the concrete at mesoscopic scale when subjected to different chemically aggressive environments after the period of the deformation of the pieces, since the action of the harmful compounds starts as soon as the structures are constructed, and also find solutions for such pathologies. The development of a simple concrete trace according to the ACI/ABCP method, using a Portland CP II Z 32 hydraulic cement, because it presented greater impermeability and durability, the trace had a resistance of 20 MPa, the molding of 12 bodies of the test following NBR 5738 (ABNT, 2015), the test specimens were divided into groups and passed through the curing process according to the group belonging, followed by the simulation of the different chemically aggressive environments that they possessed as a harmful compound to freshwater and saltwater, to determine how these environments affect concrete. Then, the visual and mechanical analysis was performed through the axial compression tests according to NBR 5739 (ABNT, 2018) and the diametrical compression traction test according to NBR 7222 (ABNT, 2011) of each test specimen. the mechanical behavior of concrete when submitted to different aggressive environments.

**KEYWORDS:** Pathologies. Concrete. Aggressive Environment. Chemical Environment. Mechanical Behavior.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caracterização do agregado miúdo.....	44
Figura 2 - Caracterização do agregado graúdo.....	44
Figura 3 - Peneiramento do agregado graúdo.....	46
Figura 4 - Peneiramento do agregado miúdo.....	47
Figura 5 - Mistura do concreto na betoneira.....	48
Figura 6 - Slump test do concreto.....	49
Figura 7 - Moldagem dos corpos de prova.....	50
Figura 8 - Corpos de prova moldados e identificados.....	50
Figura 9 - Cura dos corpos de prova.....	51
Figura 10 - Corpos de prova no ambiente sem agressividade.....	52
Figura 11 - Corpos de prova submersos em água.....	53
Figura 12 - Corpos de prova submersos por um período de 30 minutos.....	54
Figura 13 - Corpos de prova secando ao ar livre.....	55
Figura 14 - Corpos de prova e balde com água para simulação do ambiente marinho.....	56
Figura 15 - Cloreto de sódio.....	56
Figura 16 - Sulfato de sódio.....	57
Figura 17 - Simulação do ambiente marinho submerso.....	57
Figura 18 - Corpo de prova sem a presença de patologias.....	59
Figura 19 - Corpo de prova do grupo 1 sem a presença de patologias.....	59
Figura 20 - Corpo de prova do grupo 2 com manchas brancas.....	60
Figura 21 - Corpos de prova do grupo com a presença de descoloração e pequenas trincas...	61
Figura 22 - Corpo de prova com início de degradação.....	62
Figura 23 - Corpo de prova apresentando descolorações.....	62
Figura 24 - Corpos de prova com manchas brancas na superfície.....	63
Figura 25 - Corpo de prova com a presença de linhas brancas.....	64
Figura 26 - Fragmentos de concreto no fundo do balde.....	64
Figura 27 - Ensaio de compressão axial.....	65
Figura 28 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental.....	32
Quadro 2 - Correspondência entra a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal .....	33
Quadro 3 - Granulometria da areia .....	45

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Tempo de cura dos corpos de prova.....	51
Tabela 2 - Resistência a compressão axial dos corpos de prova .....	65
Tabela 3 - Resistência a tração compressão diametral dos corpos de prova .....	67

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resistência a compressão.....	66
Gráfico 2 - Tração por compressão diametral .....	68

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
CP	Cimento Portland
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma MERCOSUL

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
1.3	METODOLOGIA .....	17
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
<b>2</b>	<b>CONCRETO CONVENCIONAL .....</b>	<b>18</b>
2.1	CIMENTO PORTLAND .....	18
<b>2.1.1</b>	<b>Propriedades físicas do cimento Portland.....</b>	<b>19</b>
2.1.1.1	Finura .....	19
2.1.1.2	Tempo de pega .....	20
2.1.1.3	Resistência .....	20
2.1.1.4	Exsudação .....	21
2.2	AGREGADOS PARA O CONCRETO .....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Propriedades físicas.....</b>	<b>21</b>
2.2.1.1	Massa específica .....	22
2.2.1.2	Granulometria .....	22
2.2.1.3	Massa específica aparente.....	22
2.2.1.4	Porosidade.....	23
2.2.1.5	Teor de umidade .....	23
<b>2.2.2</b>	<b>Impureza nos agregados .....</b>	<b>23</b>
2.3	ÁGUA.....	24
2.4	ADITIVOS.....	24
<b>2.4.1</b>	<b>Aditivos de ação física .....</b>	<b>25</b>
2.4.1.1	Plastificantes .....	25
2.4.1.2	Incorporadores de ar.....	25
<b>2.4.2</b>	<b>Aditivos de ação química .....</b>	<b>26</b>
2.4.2.1	Aceleradores.....	26
<b>2.4.3</b>	<b>Aditivos de ação físico-química .....</b>	<b>26</b>
2.4.3.1	Retardadores .....	26

2.4.3.2	Impermeabilizantes .....	27
2.4.3.3	Expansores .....	27
2.5	PRODUÇÃO DO CONCRETO .....	27
2.5.1	Mistura .....	27
2.5.2	Transporte.....	28
2.5.3	Lançamento.....	28
2.5.4	Adensamento.....	29
2.5.5	Cura .....	29
<b>3</b>	<b>PATOLOGIAS, AMBIENTES AGRESSIVOS E DEGRADAÇÃO NO CONCRETO .</b> .....	<b>31</b>
3.1	AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE .....	31
3.1.1	Agressividade ambiental fraca .....	34
3.1.2	Agressividade ambiental moderada.....	34
3.1.3	Agressividade ambiental forte.....	34
3.1.4	Agressividade ambiental muito forte.....	35
3.2	MECANISMOS DE ENVELHECIMENTO E DETERIORAÇÃO .....	35
3.2.1	Lixiviação .....	36
3.2.2	Ataque por sulfato .....	36
3.2.3	Reação álcali-agregado .....	36
3.2.4	Abrasão, erosão e cavitação.....	37
3.2.5	Efeito de altas temperaturas.....	37
3.2.6	Ataque por água .....	38
3.3	PREVENÇÃO.....	38
3.3.1	Agressividade ambiental.....	39
3.3.2	Qualidade do concreto .....	39
3.3.3	Espessura de cobrimento .....	39
3.3.4	Controle da fissuração .....	40
3.3.5	Controle de qualidade no canteiro de obras .....	40
3.4	MANUTENÇÃO .....	40
<b>4</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>42</b>
4.1	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....	42
4.1.1	Caracterização dos agregados.....	43

<b>4.1.2</b>	<b>Definição do traço.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Produção do concreto.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Cura dos corpos de prova .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Disposição nos ambientes agressivos .....</b>	<b>52</b>
4.1.5.1	Grupo 1: ambiente sem agressividade .....	52
4.1.5.2	Grupo 2: ambiente submerso em água.....	53
4.1.5.3	Grupo 3: ambiente com ações da natureza.....	54
4.1.5.4	Grupo 4: ambiente submerso marinho .....	55
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
5.1	ANÁLISE VISUAL .....	58
<b>5.1.1</b>	<b>Grupo 1: ambiente sem agressividade.....</b>	<b>58</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Grupo 2: ambiente submerso em água.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Grupo 3 ambiente com ações da natureza .....</b>	<b>61</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Grupo 4: ambiente submerso marinho .....</b>	<b>63</b>
5.2	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL .....	65
5.3	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL .....	66
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
6.1	TRABALHOS FUTUROS .....	70
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE A – Cálculo do traço de concreto.....</b>	<b>76</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Tratando-se de um material construtivo de maior utilização no mundo, o concreto é um composto heterogêneo constituído da mistura de diversos elementos. Possui resistência adequada, protege a armadura contra a corrosão, apresenta versatilidade de moldagem, facilidade de execução além de permitir a construção de importantes obras como edificações, hospitais, escolas, pontes, aquedutos e barragens que são indispensáveis na infraestrutura e desenvolvimento de uma sociedade (NADALINI & BISPO, 2017; AMORIM, 2010).

O concreto é uma mistura de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e, em alguns traços, aditivos, que combinados em porções calculadas formam um material que após o período de cura apresenta elevada resistência, ele é utilizado em diversas construções. O concreto convencional é chamado assim, pois é um material que apresenta baixa trabalhabilidade, consistência seca e não exibe nenhuma característica especial, muito utilizado em obras de pequeno e médio porte (PORTAL DO CONCRETO, 2018).

As patologias são um conjunto de anomalias ou problemas que atingem o concreto de maneira nociva provocando o aparecimento de fissuras, eflorescências, manchas e até mesmo a degradação que são os sintomas apresentados pela estrutura quando esta sofre com agressões químicas, físicas e biológicas, a correlação da estrutura com a classe de agressividade facilita o entendimento do surgimento das patologias nas peças estruturais (SOUZA & RIPPER, 2009).

Há diversas situações em que o concreto convencional está sujeito a ataques químicos dos ambientes em que se encontra, seja pela presença de sulfatos, de ácidos ou de íons de cloro, que acarreta em uma minoração da durabilidade e do desempenho, causando desta forma danos estruturais irreparáveis. Por este motivo o concreto deve ser alvo de alguns cuidados que se iniciam na fase de projeto e devem ser mantidos após a construção através da manutenção das estruturas (SOUZA & RIPPER, 2009). Assim, este capítulo apresenta o escopo deste trabalho elucidando sobre o tema aqui abordado.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Sendo as patologias, mesmo em pequena escala, fato inevitável nas estruturas de concreto. E quando, em condição específica, este é submetido à ambientes agressivos tais patologias podem exacerbar-se comprometendo por completo a utilização da peça estrutural. Portanto, o estudo do comportamento do concreto submetido a estes ambientes em

mesoescala<sup>1</sup> de observação são relevantes. Estudiosos que tratam de patologias tais como Souza e Ripper (2009), Santos (2014), Lapa (2008), Corsini (2013), entre outros listam várias situações de agressividade, como, por exemplo, a poluição atmosférica típica das grandes cidades, os componentes provenientes das indústrias e a atmosfera marinha dos oceanos, mostrando que o concreto está submetido à deterioração em qualquer lugar que seja inserido. Sabe-se também que o conhecimento do comportamento do material em escala mesoscópica facilita as análises em macroescala (escala real ou de projeto), assim, fundamenta esta pesquisa (QUARESMA, 2016).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O estudo desenvolvido tem como análise qualitativa das características da mesoestrutura do concreto convencional quando este, após um processo de cura de 14 dias é submetido a diferentes ambientes agressivos conforme NBR 6118 (ABNT, 2014).

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um estudo bibliográfico sobre o concreto convencional e seus componentes, e também sobre as patologias, classes de agressividade, deterioração, prevenção e manutenção;
- Obter um traço de concreto convencional que após moldagem dos corpos de prova e cura, serão dispostos na simulação de ambientes agressivos;
- Analisar as características visuais dos corpos de prova para compreender as manifestações das patologias.
- Analisar as características mecânicas dos corpos de prova através da compressão axial e da tração diametral;
- Tabular e verificar os resultados obtidos apresentando o comportamento do concreto nos diferentes ambientes.

---

<sup>1</sup> Mesoescala é a escala de observação a olho nu, constituída pela forma, distribuição, tipo, tamanho, quantidade, e proporção das fases presentes em um sólido (QUARESMA, 2016)

### 1.3 METODOLOGIA

Ocorrerá a elaboração e confecção de um traço de concreto convencional utilizando cimento Portland CP-II Z 32, pois este cimento apresenta maior impermeabilidade e durabilidade. O concreto apresentará uma resistência de 20 MPa, executado a produção do concreto será realizado a moldagem de 12 corpos de prova seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2015), em sequência estes serão divididos em 5 grupos, 4 desses grupos representará as agressividades ambientais que influenciam as estruturas de concreto e serão compostos por 2 corpos de prova cada, e um grupo para o controle da resistência aos 28 dias que será composto por 4 corpos de prova. Os corpos de prova irão prosseguir para o processo de cura de 14 dias, posteriormente cada grupo será submetido à simulação dos ambientes agressivos, ilustrando dessa maneira o que acontece com as estruturas de concreto após a realização da etapa da desforma das peças, que geralmente ocorre dentro desses 14 dias.

Os ambientes quimicamente agressivos serão o grupo 1: ambiente sem agressividade que não possui risco de deterioração, grupo 2: ambiente submerso em água e grupo 3: ambiente com ações da natureza com ameaça de deterioração insignificante, e por fim grupo 4: ambiente submerso marinho com risco de deterioração elevado. Por fim será realizada a análise das características visuais como a presença de manchas, descolorações, trincas, eflorescências, entre outras, e das características mecânicas através da compressão axial seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018) e tração por compressão diametral através da NBR 7222 (ABNT, 2011) com a ajuda equipamentos de laboratórios elucidando assim o estudo.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para atingir os objetivos propostos o estudo está organizado em cinco partes:

Capítulo 1, onde será apresentada a introdução do estudo, conforme descrita acima; Capítulo 2 apresentará o estudo sobre o concreto convencional, sua composição, produção e considerações gerais; Capítulo 3 exibirá os ambientes agressivos, fatores de degradação, prevenção e manutenção do concreto; Capítulo 4 descreverá a metodologia do trabalho desenvolvido, onde é produzido um traço de concreto e realizado a moldagem de corpos de prova que será dividido em grupos e submetido a diferentes ambientes químicos, simulando assim os ambientes agressivos; Capítulo 5 discutirá os resultados obtidos com os testes e com as análises visuais e mecânicas; Capítulo 6, por fim, apresentará a conclusão obtida após a análise do experimento.

## 2 CONCRETO CONVENCIONAL

O concreto é um material formado por uma mistura adequada de cimento, agregados e água que vem a formar uma massa de consistência plástica que ganha resistência ao longo do tempo. Em algumas situações são incorporados produtos químicos e outros componentes com o intuito de favorecer algumas propriedades. Um concreto de qualidade necessita de diversos cuidados que abrangem a escolha de materiais compatíveis, um traço adequado, a aplicação e a manutenção correta (NOGUEIRA, 2010; KULISCH, 2011).

Nos últimos anos o concreto convencional tem sido um material de maior utilização no Brasil, razão está pelo fato do concreto ser um material economicamente viável e um material durável, desde que seja bem executado conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014). Este material possibilita a utilização da pré-moldagem que proporciona rapidez na execução e adapta-se a diversas formas permitindo inúmeros modelos arquitetônicos e constituindo uma estrutura monolítica e hiperestática, porém por outro lado a grande desvantagem do concreto convencional segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014) é o elevado peso próprio que a estrutura pode apresentar, limitando seu uso em determinadas situações ou aumentando abundantemente seu custo e volume.

### 2.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é um material muito utilizado na construção civil desde pequenas edificações até grandes feitos mundiais, pode ser empregado no preparo de pastas, argamassas, concretos, grautes, e outros compósitos. É um pó fino com propriedades ligantes, pertence à classe dos materiais classificados como aglomerantes hidráulicos, sendo assim é um material que em contato com a água entra em processo físico-químico tornando-se um material sólido com resistência conveniente. Após o endurecimento mesmo que seja submetido à ação da água ele não se decompõem mais. É um produto constituído de cal (CaO), sílica (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), determinada proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>), possui ainda substâncias menores como impurezas, óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O), óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) e outras substâncias de pequena importância (BAUER, 2012). Atualmente o cimento Portland é normalizado pela NBR 16697 (ABNT, 2018) e encontram-se onze tipos no mercado:

- CP I – Cimento Portland comum;
- CP I-S – Cimento Portland comum com adição;
- CP II-E – Cimento Portland composto com escória;
- CP II-Z – Cimento Portland composto com pozolana;
- CP II-F – Cimento Portland composto com fíler;
- CP III – Cimento Portland de alto-forno;
- CP IV – Cimento Portland pozolânico;
- CP V – ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial;
- RS – Cimento Portland resistente a sulfatos;
- BC – Cimento Portland de baixo calor de hidratação;
- CPB – Cimento Portland branco.

Essas categorias de cimento se diferenciam entre si devido a proporção de clínquer, sulfato de cálcio e suas adições, tais como escória, pozolana e fíler calcário, acrescentados no processo de moagem para aperfeiçoar algumas características do concreto. O cimento Portland divergi também por causa das propriedades como a alta resistência inicial, a resistência a sulfatos, a cor branca entre outras (ISAIA, 2011).

## **2.1.1 Propriedades físicas do cimento Portland**

### **2.1.1.1 Finura**

A finura do cimento está relacionada ao tamanho dos grãos, este é um fator que afeta a velocidade de hidratação de argamassas e concretos, ela é determinada naturalmente durante o processo de fabricação do cimento. Essa propriedade está diretamente ligada ao seu desempenho (BAUER, 2012).

Aumentando a finura do cimento é possível elevar a resistência do concreto nos primeiros anos, minimizar a exsudação e outros tipos de segregação e também aumentar a permeabilidade e a coesão. Em razão do custo do processo de moagem e da liberação de calor durante o processo de hidratação do cimento se faz necessário utilizar um limite para determinar uma finura apropriada (SIQUEIRA, 2008).

A determinação da finura do cimento Portland é realizada com base na NBR 11579 (ABNT, 2012) onde se utiliza a peneira número 200 para determinar a finura dos grãos, o índice de finura obtido no ensaio não deve ser superior a 12% (NETO, 2013).

### 2.1.1.2 Tempo de pega

O tempo de pega do cimento é o tempo necessário para que se obtenha uma diminuição da trabalhabilidade tornando o material impróprio para o trabalho, ou seja, compreende o desenvolvimento das propriedades mecânicas. Tal propriedade se estende desde a pasta de cimento até o concreto. Durante o tempo de pega as argamassas e os concretos não devem ser perturbados, sofrerem choques ou vibrações para não impedir a cristalização dos componentes do cimento presentes na pasta (BAUER, 2012).

Inúmeros fatores podem minimizar o tempo de pega do cimento, como a finura elevada, o baixo fator água/cimento, o uso de aditivos aceleradores de pega e a baixa umidade do ar, mas existem fatores que também podem ampliar o tempo de pega como as baixas temperaturas e os aditivos retardadores de pega (MUNIZ, 2008). O tempo de pega pode ser dividido em duas etapas distintas, o início da pega e o fim da pega. Para a determinação das duas fases deve empregar a NBR 16607 (ABNT, 2017), onde utilizando-se o aparelho de Vicat e uma amostra de pasta de cimento com consistência normal a agulha do aparelho não consegue penetrar até o fundo da amostra. O fim da pega é o momento em que utilizando o aparelho de Vicat a agulha do aparelho não consegue penetrar na pasta de cimento com consistência normal (AOKI, 2010).

### 2.1.1.3 Resistência

Para que a estrutura de concreto atenda aos requisitos de segurança o cimento Portland precisa atingir a resistência à compressão prevista de acordo com a classe designada. A resistência do cimento Portland é uma das características mais importantes, ela é determinada através do ensaio de compressão axial em corpos de prova feitos de argamassa. O procedimento é realizado utilizando uma argamassa de cimento e areia na proporção de 1:3 adicionando água até obter uma mistura de consistência normal, a moldagem dos corpos de prova é normatizada e deve seguir a NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos de prova são conservados em câmara úmida por um período de 24 horas e posteriormente submersos em água até a data de rompimento usando o equipamento de compressão (BAUER, 2012).

#### 2.1.1.4 Exsudação

A exsudação é um fenômeno onde ocorre a segregação da pasta de cimento. O cimento Portland por possuir partículas mais pesadas que a água que os envolve é forçado pela gravidade a uma sedimentação, com a isso há uma elevação do excesso de água presente na mistura. Este fenômeno acontece antes do início da pega e afeta a uniformidade, a resistência e a durabilidade dos concretos (SIQUEIRA, 2008).

## 2.2 AGREGADOS PARA O CONCRETO

Os agregados são materiais granulares sem forma e volumes definidos, utilizados originalmente para fornecer "corpo" ao concreto tornando este economicamente viável. Atualmente os agregados compõem cerca de 80% da mistura e desempenham um papel importante em argamassas e concretos. Estes componentes podem ser de origem natural ou industrializada e devem possuir dimensões e propriedades satisfatórias para o correto emprego. Geralmente são materiais inertes, devem ser provenientes de jazidas próximas aos locais de dosagem e exercem influência benéfica sobre algumas características importantes do concreto. Com relação à granulometria o agregado pode ser classificado em agregado miúdo sendo o material que passa pela peneira de malha quadrada com 4,8 mm de lado como as areias, o pó de pedra e os siltes, e o agregado graúdo todo material que fica retido na peneira de malha quadrada de 4,8 mm de lado como as britas e os cascalhos (MARTINS, 2008). A NBR 7211 (ABNT, 2005) “especifica os requisitos exigíveis para a recepção e a produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland”.

### 2.2.1 Propriedades físicas

O conhecimento das propriedades dos agregados é de extrema relevância visto que elas podem alterar a dosagem do concreto, as propriedades do concreto no estado fresco, as propriedades do concreto no estado endurecido e até mesmo a durabilidade e o desempenho de argamassas e de concretos.

### 2.2.1.1 Massa específica

É a relação da massa do agregado seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis do material que compõem os grãos do agregado, compreender tal informação é de suma importância para o cálculo do traço de concretos e argamassas (MARTINS, 2008).

A determinação da massa específica do agregado miúdo é feita conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2009) na qual utilizando um picnômetro e uma amostra do material, através do experimento descrito na norma obtêm-se a massa seca e o volume do agregado miúdo, deste modo por meio de fórmulas encontra-se a massa específica (NBR NM 52, ABNT 2009). Para a determinação da massa específica do agregado graúdo deve obedecer a NBR NM 53 (ABNT, 2009), onde usando uma amostra do material previamente pesado é necessário mergulhar a amostra em água à temperatura ambiente por um período de 24 horas e determinar a massa saturada da mesma, posteriormente realiza-se a secagem do material evitando a evaporação da água dos poros, pesa-se a amostra após a secagem, encontrando a massa seca, a massa saturada e a massa de água, desta maneira é possível através de relações matemáticas descobrir a massa específica do agregado graúdo (NBR NM 53, ABNT 2009).

### 2.2.1.2 Granulometria

O agregado é formado por grãos de diversos tamanhos, a granulometria é a distribuição das dimensões desses grãos. É usualmente expressa em porcentagens acumuladas maiores ou menores do que cada uma das aberturas de uma série de peneiras. A granulometria de um agregado tem grande influência em argamassas e concretos como, por exemplo, na trabalhabilidade no estado fresco, na redução da resistência e na descontinuidade da argamassa. Para determinar a granulometria é utilizada a NBR NM 248 (ABNT, 2003) onde é necessário realizar o peneiramento de um agregado empregando uma série de peneiras que possuem aberturas padronizadas (MARTINS, 2008).

### 2.2.1.3 Massa específica aparente

É a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume, abrangendo o material sólido, e os vazios permeáveis e impermeáveis. Pode variar conforme o grau de adensamento do agregado e conseqüentemente da compactação. Para a determinação é necessário seguir a

NBR NM 53 (ABNT, 2009) para agregados graúdos e a NBR NM 52 (ABNT, 2009) para os agregados miúdos (NBR NM 52, ABNT 2009; NBR NM 53 ABNT, 2009).

#### 2.2.1.4 Porosidade

É a capacidade de se permitir atravessar por líquidos e gases. A água pode permear um corpo por capilaridade, pressão ou ambos. Sendo o agregado um material granuloso, entre as partículas dos grãos se encontra os vazios, logo a porosidade é a relação entre o volume dos vazios e o volume do agregado (BAUER, 2012).

#### 2.2.1.5 Teor de umidade

O teor de umidade de um agregado é a água absorvida por ele, preenchendo total ou parcialmente os vazios presentes. Essa propriedade é de grande importância devido ao fenômeno de inchamento que ocorre nos agregados, isto é, o aumento de volume por causa do deslocamento das partículas ocasionado pela água que penetra nos vazios, este evento ocorre principalmente nos agregados miúdos. Para a determinação da umidade nos agregados é necessário determinar o peso de uma amostra do material, em seguida a amostra é seca em uma estufa até o peso constante, a diferença entre a massa inicial e a massa final define o teor de umidade do material que geralmente é expresso em porcentagem (BAUER, 2012).

### 2.2.2 Impureza nos agregados

Os agregados podem conter em sua composição substâncias nocivas que podem modificar a sua qualidade e composição granulométrica. Quando os agregados compreendendo esses materiais são empregados no preparo de argamassas e concretos prejudicam as propriedades desses, alterando a trabalhabilidade e reduzindo a resistência mecânica. As impurezas são de ocorrência em agregados miúdos e podem ser determinadas através de ensaios empregando-se a NBR NM 49 (ABNT, 2001), as impurezas mais encontradas nos agregados são as de origem orgânica, torrões de argilas e materiais friáveis, materiais pulverulentos, minerais alcali-reativos, impurezas salinas, resíduos industriais, entre outros (NETO, 2011).

## 2.3 ÁGUA

O cimento é um aglomerante hidráulico, portanto a água provoca a reação de hidratação dos compostos presentes e facilita a trabalhabilidade de pastas, argamassas, concretos e grautes. A água é responsável por tornar a mistura suficientemente trabalhável, facilitar seu transporte, lançamento e adensamento, mas por outro lado é capaz de promover a retração, exsudação, aumentar a porosidade e reduzir a resistência (AMORIM, 2010).

A água utilizada no amassamento permanece na mistura até a sua evaporação onde forma canais capilares e pequenas bolhas no produto, quanto maior for a quantidade de água existente mais vazios terá o produto final e conseqüentemente menor será resistência a compressão axial. Constantemente haverá vazios no concreto dado que permanentemente será indispensável à utilização de água para possibilitar as reações químicas de hidratação (YAZIGI, 2009).

Outra utilização importante da água na construção civil é na realização da cura do concreto, para impedir a evaporação da água de amassamento permitindo assim o desenvolvimento das reações de hidratação que irá promover a resistência adequada do concreto e ainda prevenir a manifestação prematura de fissuras que podem comprometer a edificação (MAPA DE OBRA, 2016).

É fundamental executar a análise da qualidade da água de amassamento utilizada na mistura e na cura, uma vez que possa ela conter impurezas dissolvidas ou em suspensão como óleos e gorduras, sabões, graxas, detergentes, ácidos e materiais sólidos capazes de contaminar argamassas e concretos influenciando de maneira negativa nas características deles, por esse motivo a água empregada deve seguir as recomendações da NBR 15900-1 (ABNT, 2009) (ISAIA, 2011).

## 2.4 ADITIVOS

Aditivo é um produto adicionado intencionalmente em argamassas e concretos com o intuito de alterar as propriedades destes no estado fresco ou endurecido concedendo benefícios que não são adquiridos de forma natural. Dispõe principalmente de duas finalidades básicas que são elevar a qualidade e minorar os pontos fracos (AMORIM, 2010).

Os aditivos são incorporados na mistura de cimento, agregados e água para proporcionar as características almejadas no concreto. As funções fundamentais dos aditivos para o concreto são: aumentar a plasticidade, reduzir o custo em termos de consumo de

cimento, acelerar ou retardar o tempo de pega, reduzir a retração e aumentar a durabilidade (GRUPO IDD, 2017).

O apropriado emprego dos aditivos consegue proporcionar múltiplas características ao concreto, entretanto é fundamental a utilização correta desses produtos. Se for utilizado mais de um aditivo na mesma mistura eles deverão ser adicionados separadamente.

"A classificação dos aditivos é feita segundo sua ação principal, são divididos em três grupos: ação física, ação química e ação físico-química". As substâncias presentes na fórmula podem ser orgânicas ou inorgânicas disseminadas em um veículo fluido, pastoso ou sólido (VEDACIT, 1999).

## **2.4.1 Aditivos de ação física**

### 2.4.1.1 Plastificantes

São conhecidos como aditivos redutores de água, tem como finalidade reduzir ou conservar o consumo de água no concreto, melhoram o fluxo e a plasticidade, aumentando a resistência mecânica, promovendo maior impermeabilidade e durabilidade, minimizando a retração, a exsudação<sup>2</sup> e o fissuramento, e também facilitando o adensamento e o bombeamento. Os aditivos plastificantes têm a habilidade de limitar o consumo de água e como resultado o consumo de cimento na dosagem de concretos e argamassas. São elaborados de lignosulfonatos, ácidos hidro carboxílicos ou polímeros hidroxilados (DALDEGAN, 2017; VEDACIT, 1999).

### 2.4.1.2 Incorporadores de ar

Os incorporadores de ar quando adicionados a argamassas e concretos promovem a introdução moderada de uma quantidade de ar no estado de microbolhas, que atuam como um agregado muito fino, elas são uniformemente e estavelmente dispersas na massa de concreto. O sistema produzido por meio das microbolhas não se desfaz com a aplicação de vibração comum, bastante empregada no adensamento do concreto (YAZIGI, 2009).

---

<sup>2</sup> Exsudação é a tendência da água de amassamento vir à superfície do concreto recém lançado (SIQUEIRA, 2008).

As microbolhas formadas apresentam uma curva granulométrica continua que possibilita maior coesão com o cimento e os agregados, diminuindo assim a porcentagem de vazios, ampliando o desempenho térmico e acústico e diminuindo a exsudação. A principal desvantagem da utilização desse aditivo é a redução da resistência do concreto ocasionado por causa das bolhas introduzidas na mistura, tornando-o também poroso. Esses aditivos são amplamente utilizados em países frios e podem ser formados a partir de várias matérias primas, principalmente: ácido abiético, alquil-arilsulfonatos e sais de ácidos graxos (HARTMANN et al., 2011; VEDACIT, 1999).

## **2.4.2 Aditivos de ação química**

### **2.4.2.1 Aceleradores**

São produtos que aceleram o processo de hidratação, como resultado o processo de solidificação de argamassas e concretos, favorecendo a aquisição de altas resistências iniciais. Os mais eficazes são preparados à base de cloreto de cálcio, contudo podem ser preparados também de carbonatos, silicatos, hidróxidos entre outros. A utilização deste composto deve ser feita cumprindo as recomendações dos fabricantes, pois o uso elevado deste aditivo pode causar corrosão nas armaduras presentes nas estruturas de concreto armado (BAUER 2012; VEDACIT, 1999).

## **2.4.3 Aditivos de ação físico-química**

### **2.4.3.1 Retardadores**

São aditivos com a função de retardar a pega inicial de argamassas e concretos, permitindo assim maior período de manipulação com o mesmo. Podem ser constituídos de carboidratos bem como produtos inorgânicos. São empregados principalmente para ampliar as condições de lançamento e acabamento do concreto, para reduzir a formação de juntas durante a concretagem. Agem por osmose na água e nos grãos de cimento impossibilitando a dissolução da cal dos silicatos e aluminatos (HARTMANN et al., 2011; VEDACIT, 1999).

#### 2.4.3.2 Impermeabilizantes

Aditivos que tem a função de diminuir a permeabilidade evitando danos causados por umidade do solo, por água da chuva, por infiltração, entre outros. Atuam por ação repulsiva com relação à água ou por obstrução dos poros presentes no concreto. São utilizados em argamassas de reparo, rejuntes e nos concretos de reservatórios e de fundações (VEDACIT, 1999; MORAES, 2014).

#### 2.4.3.3 Expansores

É o aditivo que provoca a expansão do concreto, reagindo com a cal do cimento e a água, desta maneira acontece o desprendimento de hidrogênio que formam bolhas e ampliam o volume, provocando a expansão, este aditivo acarreta na redução da resistência de argamassas e concretos devido ao aumento do volume. É utilizado em situações em que se deseja uma expansão do concreto dentro da cavidade, em casos de chumbamento ou em locais de difícil acesso que complicam a concretagem, sua utilização deve ocorrer após cuidadosos estudos. Para a obtenção de resultados adequados é necessário que seja restringido um volume determinado. São aditivos constituídos de aluminatos ou sulfoaluminatos e os teores utilizados nas misturas se situam entre 1% e 2% (YAZIGI, 2009; VEDACIT, 1999).

### 2.5 PRODUÇÃO DO CONCRETO

O preparo do concreto deve atender há requisitos básicos de modo que o principal objetivo é obter uma mistura com o agrupamento interno dos agregados, aglomerantes, água e aditivos. As etapas da produção do concreto dividem-se em mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura.

#### 2.5.1 Mistura

A mistura dos componentes do concreto pode ser feita de modo manual ou mecânico. A mistura manual tem que possuir um pequeno volume preparado e deve ser utilizada em obras de pequena importância. É preparada utilizando uma superfície impermeável, homogênea e plana, mistura-se primeiro os componentes secos até obter-se uma cor uniforme,

em seguida adiciona-se aos poucos a água necessária continuando a mistura até obter uma massa com aspecto homogêneo e uniforme (CONSTRUFACILRJ, 2013).

Efetuada através do uso de máquinas especiais, a mistura mecânica é mais eficiente e produz grandes volumes de concreto. As máquinas podem possuir um tambor ou uma cuba, ser fixas ou girar em torno de um eixo que pode ser horizontal, vertical ou inclinado, entre os equipamentos mais conhecidos encontram-se as betoneiras (BAUER, 2012). Para uma mistura satisfatória é fundamental colocar em primeiro lugar a água e o agregado graúdo, em razão de que estes promovem a limpeza do equipamento, em seguida acrescenta-se o cimento, pois haverá uma boa distribuição de água para cada partícula de cimento e ainda uma moagem dos grãos e por fim o agregado miúdo que faz um tamponamento dos materiais colocados, prossegue-se a mistura até o tempo necessário para obter-se um material com o agrupamento interno de todos os componentes (YAZIGI, 2009).

### **2.5.2 Transporte**

O sistema de transporte do concreto é o trajeto que este irá realizar do local de produção até o local de aplicação. O transporte deve ser realizado da maneira mais rápida possível para evitar o início da pega e manter a homogeneidade do mesmo. O sistema de transporte sempre que possível deve permitir o lançamento do concreto direto na fôrma evitando-se o depósito intermediário, se este for necessário tem que tomar precauções para evitar a segregação, pois o concreto é uma mistura heterogênea com pesos, densidades e dimensões variadas (BAUER, 2012).

Os sistemas de transportes são classificados em horizontal, vertical, oblíquo e bombas. Para a escolha do melhor transporte é preciso analisar a distância até o local em que será realizada a concretagem, o acesso ao local de aplicação, o tamanho dos grãos dos agregados, a trabalhabilidade, a dosagem do concreto, entre outros fatores (BAUER, 2012).

### **2.5.3 Lançamento**

O lançamento ou a disposição do concreto nas fôrmas tem que ser realizado logo após a mistura para evitar que se inicie o tempo de pega, tornando assim o material impróprio para a utilização.

Alguns cuidados específicos devem ser tomados durante o lançamento do concreto, as fôrmas devem ser previamente molhadas para que elas não absorvam a água de

amassamento do concreto. Para realizar o lançamento em alturas superiores a 2 metros, medidas especiais devem ser tomadas, pois pode ocorrer a segregação do concreto por causa dos diferentes pesos que os materiais que o compõe apresentam. Quando necessário deixar juntas de dilatação cuja finalidade é permitir que ocorram corretamente as deformações da estrutura (AOKI, 2007).

#### **2.5.4 Adensamento**

A principal função do adensamento é a retirada por completo de bolhas de ar do concreto, minimizando assim a presença de vazios. Os processos de adensamento podem ser divididos em manuais ou mecânicos. Dentre os processos manuais se encontra o apiloamento<sup>3</sup>, onde com o auxílio de um soquete realiza-se o adensamento até que apareça na superfície uma camada lisa, é recomendado que este procedimento seja executado em concretos com camadas de até 20 cm de espessura e também em obras de pequeno porte (BAUER, 2012).

O adensamento mecânico é efetuado por meio de vibração ou de centrifugação. Os vibradores podem ser divididos em: vibradores de imersão, superfície ou externos, a vibração faz com que as partículas fiquem em movimento oscilatório facilitando assim a acomodação entre elas, expulsando o ar presente. A centrifugação é um processo especial de adensamento utilizado de preferência em peças de concreto pré-moldadas, a centrifugação provoca o adensamento pelo aumento do peso aparente do concreto contra as fôrmas (CONSTRUFACILRJ, 2014).

#### **2.5.5 Cura**

Para conseguir um bom concreto é essencial uma cura apropriada, a cura significa evitar a evaporação da água empregada na mistura do concreto, permitindo assim a completa aglutinação das partículas presentes no cimento Portland. Realizada ao longo das primeiras etapas de endurecimento do concreto, ela pode ser executada de diversas maneiras, conforme as circunstâncias (YAZIGI, 2009).

---

<sup>3</sup> Apiloamento é a compactação de um determinado terreno de forma manual ou mecânica (BAUER, 2012).

A escolha da técnica mais apropriada para executar a cura será estabelecida por uma série de fatores como o custo, a presença de ferramentas apropriadas no local, à velocidade de desforma e ainda as interferências que a cura pode causar nas demais atividades do canteiro de obras. Entre os métodos utilizados estão o recobrimento, a aspersão ou irrigação de água, a submersão, o recobrimento com plásticos e semelhantes, a conservação das fôrmas, a impermeabilização por pinturas, a membrana de cura, entre outros. A cura deve ser realizada por um período mínimo de 7 dias para que os concretos possam alcançar a resistência prevista em projetos, e também melhorar a impermeabilidade e a resistência ao ataque de agentes agressivos (AECWEB, 2018).

### **3 PATOLOGIAS, AMBIENTES AGRESSIVOS E DEGRADAÇÃO NO CONCRETO**

As patologias nas construções são falhas ou defeitos que compromete uma ou mais funções de um edifício ou seu conjunto. Segundo Isaia, (2011 p.1097) "os problemas patológicos em construções de modo geral ocorrem desde quando o homem passou a produzir as moradias necessárias à sua sobrevivência".

As patologias, ou seja, doenças nas construções geralmente estão associadas com falhas ocorridas nos projetos ou na execução. Podem-se manifestar na etapa da construção, na fase de uso ou anos após a conclusão da obra. As patologias relacionam-se com os conceitos de durabilidade e vida útil, pois o concreto requer cuidados especiais como o estudo do traço, o manuseio correto e a cura apropriada e ainda a prevenção contra agentes agressivos para assegurar estas características (SANTOS, 2014).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) "a durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas pelo autor do projeto e pelo contratante". É essencial que a estrutura execute as funções estruturais e funcionais nas condições de exposição que foram projetadas para impedir a sua deterioração. A durabilidade requer ainda a adoção de um conjunto de medidas e procedimentos que garantem a estrutura e aos materiais um desempenho satisfatório (ROQUE & MORENO JUNIOR, 2005).

A vida útil é o tempo em que se mantêm as características das estruturas de concreto, isto é a segurança, a funcionalidade e a aparência aceitável, em condições satisfatórias de uso atendendo as finalidades do projeto sob as condições ambientais esperadas. A vida útil de uma estrutura requer cuidados dos proprietários e dos usuários da edificação realizando manutenções e reparos sempre que necessários a fim de garantir a funcionalidade do edifício (CARVALHO & FIGUEIREDO FILHO, 2014).

#### **3.1 AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE**

Inúmeras obras de edificações e infraestrutura são construídas expostas a ambientes quimicamente agressivos e carecem de cuidados especiais para assegurar a vida útil e a durabilidade. A agressividade dos ambientes, ou seja, a capacidade de transporte dos líquidos e gases contidos nos ambientes para o interior do concreto está relacionado a atividades químicas e físicas que agem sobre as estruturas de concreto inseridas no ambiente (NBR 6118, ABNT 2014; CORSINI, 2013). Os projetos de estruturas em concreto devem possuir a agressividade ambiental classificada segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental

<b>Classe de agressividade ambiental</b>	<b>Agressividade</b>	<b>Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto</b>	<b>Risco de deterioração da estrutura</b>
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a,b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a,b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a,c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e ambientes comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

b Pode-se admitir uma classe de pintura mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Adaptada NBR 6118 (ABNT, 2014).

O nível de agressividade do ambiente determinará parâmetros mínimos do concreto e da estrutura há serem atendidos para que estes não sofram com a deterioração do ambiente em que se encontram. O principal parâmetro segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) é o concreto de cobertura que consiste em uma proteção química e física para os vergalhões de aço, a espessura de cobertura também possui impacto na proteção da estrutura contra a ação do fogo. A tabela presente na NBR 6118 (ABNT, 2014) fornece valores da espessura de cobertura mínimo para vigas, lajes e pilares levando em consideração as quatro classes de ambientes agressivos, estes valores servem como referência para que os projetistas possam dimensionar corretamente as peças de uma estrutura assegurando deste modo a vida útil delas (NAKAMURA, 2018).

Quadro 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
<b>Concreto armado</b>	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
<b>Concreto protendido <sup>a</sup></b>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para o concreto armado.

b Para face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros.

c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

d Nos trechos dos pilares em contato com o solo juntos aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: Adaptada NBR 6118 (ABNT, 2014).

Quanto maior for a espessura de cobrimento maior será a proteção da estrutura, por isso ela está diretamente ligada com o ambiente agressivo ao qual as estruturas serão submetidas. Porém não se deve aumentar a espessura de cobrimento de maneira excessiva porque esta medida eleva o peso próprio da estrutura (NAKAMURA, 2018).

Para assegurar o cobrimento mínimo no decorrer da execução das peças de concreto é necessário a utilização de espaçadores posicionados entre a armadura e a fôrma, evitando que a armadura se movimente dentro da fôrma durante o processo de lançamento e adensamento do concreto. É permitido utilizar espaçadores de plástico, de argamassa, de concreto e metálico.

Os mais utilizados atualmente nos canteiros de obras são os de plástico e os de argamassa (YAZIGI, 2009).

### **3.1.1 Agressividade ambiental fraca**

A agressividade do ambiente relaciona-se com os componentes químicos e físicos que nele estão presentes. As estruturas inseridas em um ambiente de agressividade fraca se encontram expostas há uma atmosfera limpa, livre de componentes nocivos como poluição, chuvas ácidas e componentes oriundos do mar. O perigo de deterioração por compostos presentes neste tipo de ambiente é insignificante, por este motivo o risco de manifestações patológicas causarem a deterioração da estrutura é reduzido. Um exemplo deste tipo de ambiente são as edificações presentes em zonal rural (NAKAMURA, 2011)

### **3.1.2 Agressividade ambiental moderada**

São ambientes que possuem agressões provenientes do gás carbônico e dos cloretos presentes no ar. Devido à presença de carros e indústrias nos centros urbanos há a emissão de gases na atmosfera alterando a sua composição original, esses gases presentes no ambiente é um dos principais desencadeadores da carbonatação do concreto. Os gases provocam a diminuição do pH do concreto alterando e favorecendo-o o avanço destes para dentro da estrutura, transformando a película de passivação do aço, contribuindo assim para o início da corrosão da armadura (NADALINI & BISPO, 2017).

As chuvas ácidas contêm em seu meio a presença de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), e de ácido nítrico ( $HNO_3$ ), essas chuvas são de intensa ocorrência nos grandes municípios; geram a lixiviação e facilitam o ingresso de agentes agressivos nas estruturas. Outra situação são as partículas de substâncias presentes no ambiente que podem se depositar sobre o concreto favorecendo a degradação e o surgimento de outras patologias (NADALINI & BISPO, 2017).

### **3.1.3 Agressividade ambiental forte**

A classe ambiental forte compreende estruturas expostas as águas marinhas e as indústrias. As estruturas de concreto em ambientes litorâneos sofrem com ataques mesmo que não estejam em contato com a água, isso ocorre por conta dos processos físicos de abrasão e

também por causa da salinidade presente na névoa marinha. Quanto mais próxima a estrutura estiver do mar maior quantidade de sais será levada a ela (CORSINI, 2013).

As indústrias emitem ou dispõem em seu interior uma série de agentes como vapores, altas temperaturas, gases entre outros elementos. Essas substâncias atacam o concreto facilitando a carbonatação e o desgaste superficial podendo levar as estruturas há uma redução da resistência (SANTOS, 2014).

#### **3.1.4 Agressividade ambiental muito forte**

Nesse ambiente estão presentes as estruturas em contato com a água do mar ou sujeitos a respingos da maré e ainda os ambientes úmidos dentro das indústrias ou com a presença de ácidos. Os cloretos, sulfatos e outros agentes agressivos presentes em águas marinhas penetram através dos poros presentes no concreto e despassivam as armaduras presentes nas estruturas de concreto armado iniciando assim o processo de corrosão, pode ocorrer ainda à erosão causada por meio das ondas e por resíduos que se incrustam na estrutura (CORSINI, 2013).

Alguns ambientes industriais com substâncias específicas são extremamente agressivos ao concreto, especialmente as de caráter ácido tendo por exemplos as indústrias farmacêuticas e as indústrias de celulose e papel. As soluções ácidas danificam a microestrutura do concreto facilitando dessa forma a penetração de agentes agressivos que podem levar a estrutura a uma redução da vida útil (MEDEIROS JUNIOR. et al., 2016).

### **3.2 MECANISMOS DE ENVELHECIMENTO E DETERIORAÇÃO**

São mecanismos que deterioram o concreto, podendo ser de origem química, física e biológica, interferindo na sua durabilidade. Pode ser resultado de uma combinação de inúmeros fatores internos e externos, como falhas involuntárias, imperícias, má utilização do material, adensamento ineficiente, envelhecimento natural, intemperismo, entre outros. Em diversos casos a deterioração poderia ser facilmente evitada tomando alguns cuidados básicos com os materiais, com os métodos de execução e com os projetos executivos. Dentre as causas mais comuns encontradas nas estruturas estão à lixiviação, o ataque por sulfatos, a reação álcali-agregado, a abrasão, erosão, cavitação, as altas temperaturas e a água (SOUZA & RIPPER, 2009).

### **3.2.1 Lixiviação**

Tratando-se de uma causa comum, a lixiviação do concreto é à entrada de água por meio dos poros que transporta e dissolve os hidróxidos de cálcio e magnésio, podendo formar depósitos de sais conhecidos como eflorescências, essas que frequentemente são denominadas como manchas de coloração branca. Com a perda destes hidróxidos a estrutura fica com a resistência mecânica comprometida favorecendo a entrada de líquidos e gases prejudiciais ao concreto (ECIVIL, 2018).

A lixiviação do concreto pode ocorrer em qualquer peça, desde as concretadas recentemente até as mais antigas. A principal causa do surgimento está relacionada com a utilização de cimentos mais puros (MAPA DE OBRA, 2017).

### **3.2.2 Ataque por sulfato**

Os sulfatos são elementos extremamente agressivos ao concreto, encontrados geralmente diluídos em água ou presentes em solos. Quando ocorre a reação os sulfatos provocam a decomposição química de dois componentes da pasta de cimento, o hidróxido de cálcio e o aluminato tricálcico. Após o ataque a estrutura exhibe manchas brancas no seu exterior, posteriormente começa a exibir fissuras, deslocamento e diminuição da resistência do concreto, podendo levar a estrutura até a ruptura (SANTOS, 2012).

As consequências do ataque por sulfatos compreendem ainda a expansão, a perda de massa e a diminuição da resistência do concreto, isso ocorre devido à redução da aderência entre a pasta de cimento e as partículas de agregado. Uma alternativa para evitar essa deterioração é a análise da presença de sulfatos no ambiente em que a estrutura se localiza e a utilização de cimento Portland resistente a sulfatos (KULISCH, 2011).

### **3.2.3 Reação álcali-agregado**

A reação álcali-agregado é uma das deteriorações do concreto de maior grau de manifestação e enorme dificuldade de recuperação. É um processo químico que acontece no interior da estrutura em virtude da reação de alguns compostos mineralógicos dos agregados com os compostos alcalinos originários do cimento, da água de amassamento e de agentes externos, os quais são dissolvidos na solução dos poros do concreto. A reação pode gerar

expansões, movimentações diferenciais, fissuras, pipocamentos e até ruptura da estrutura (SANTOS, 2014).

Caracteriza-se por ser uma reação lenta, geralmente seus efeitos são detectáveis após vários anos, condições externas como umidade e temperatura são condicionantes importantes deste processo. Como medida para reduzir a vulnerabilidade do agregado reativo emprega-se cimentos ou aditivos que reduzem a porosidade do concreto (NOGUEIRA, 2010).

#### **3.2.4 Abrasão, erosão e cavitação**

O concreto pode ser submetido a vários tipos de desgastes, a abrasão pode ser definida como um desgaste por atrito entre um sólido e o concreto, provocando a perda gradual e continuada da argamassa superficial, sendo causada por meio de esfregamento, enrolamento, escorregamento ou fricção constante. Para obter uma resistência superficial satisfatória é recomendado o lançamento e o adensamento adequado do concreto, a utilização de uma baixa relação água/cimento e o emprego de uma granulometria apropriada. Esse desgaste é muito comum em pisos industriais, pavimentos rodoviários, pontes ou ainda em calçadas (GUABIROBA, 2012; LAPA, 2008).

A erosão é quando um líquido em movimento contendo partículas tais como areias, cascalhos, pedras e outros atuam sobre a superfície do concreto, a ação destas partículas causa o desgaste das estruturas por colisão, escorregamento ou rolagem superficial. A erosão causada na estrutura depende da permeabilidade do concreto, é comum encontrar esse tipo de degradação em galerias de água pluvial, em barragens, em calhas de vertedouros, em canais de irrigação e também em pilares de pontes (SANTOS, 2014; SANTOS, 2012).

A cavitação é causada por ação de um líquido em grande fluxo provocando o desgaste irregular da superfície do concreto, fornecendo-lhe uma aparência corroída, dentada ou perfurada. Logo após o início da cavitação verifica-se pequenos danos na superfície, porém após um longo período é possível constatar uma grande degradação das estruturas de concreto. Os danos por cavitação processam-se em vertedouros, em canais abertos ou em condutos fechados (NEVILLE, 2016; SANTOS, 2014).

#### **3.2.5 Efeito de altas temperaturas**

Quando inseridos em ambientes de altas temperaturas, seja por causa do clima da região, por ação do fogo ou até mesmo devido ao calor de hidratação, as estruturas de

concreto podem apresentar problemas. À medida em que são submetidas às altas temperaturas a água livre ou capilar inicia o processo de evaporação, a partir de 300°C perde-se a água de gel do concreto, acarretando na diminuição da resistência e apresentando as primeiras fissuras superficiais. A partir de temperaturas de 600°C as estruturas começam a apresentar a desagregação do concreto. As altas temperaturas afetam ainda a coloração do concreto conforme a temperatura se eleva e também pode provocar a sua esfarelção (LAPA, 2008).

O calor de hidratação desenvolvido pelo concreto pode ser bem elevado, por isso ele é capaz de provocar a evaporação da água da mistura e como consequência a retração, o aparecimento de fissuras e a redução da resistência, pois o concreto não será capaz de completar o processo de hidratação. Existem algumas maneiras de minimizar esses efeitos, através da utilização de aditivos ou empregando cimentos com adições, como o CP III, entre outras formas (CAMPOS & ROMERO, 2018).

### **3.2.6 Ataque por água**

Encontrada em grande abundância na natureza a água é um dos principais agentes de deterioração do concreto. A água pode-se encontrar impura, contendo cloretos, sulfatos, bicarbonato de cálcio e magnésio, a presença dessas substâncias em contato com a pasta de cimento provoca a dissolução dos produtos que possuem cálcio (LAPA, 2008).

A água causa a redução da resistência mecânica das estruturas e também a lixiviação dos hidróxidos de cálcio que causam uma aparência indesejável nas peças de concreto (AGUIAR, 2006). É de extrema importância evitar o contato da água com as estruturas, isso se faz através da utilização de aditivos ou impermeabilizantes, essa medida diminui a porosidade do concreto evitando assim que a água penetre através dos poros, outro procedimento é a aplicação de pingadeiras, chapins e rufos (MEDEIROS, 2010).

## **3.3 PREVENÇÃO**

Uma maneira de reduzir o surgimento de patologias é através da utilização de medidas que se destinam a antever e evitá-las. A manifestação das patologias é estimulada por falhas que ocorrem durante uma ou mais etapas da construção, essas etapas envolvem a concepção do projeto, os materiais utilizados, a mão de obra, a execução, a manutenção etc. (BERTOLINI, 2010).

Deve existir um controle sistemático e eficiente da qualidade dos materiais e dos serviços, uma perfeita harmonia entre os projetos executivos prevenindo assim as manifestações patológicas e garantindo os requisitos de funcionalidade, resistência e estabilidade ao longo da vida útil, sem que seja necessária a realização de uma manutenção não programada (BERTOLINI, 2010).

### **3.3.1 Agressividade ambiental**

O ambiente em que a estrutura de concreto se encontra é decisivo para a incidência de patologias que causam a sua degradação. Este meio agressivo leva a estrutura a sofrer com patologias em uma velocidade superior e de forma mais intensa. As altas temperaturas, a poluição das grandes cidades, os polos industriais e os mares são alguns dos ambientes de maior frequência no Brasil (LOURENÇO & MENDES, 2011).

### **3.3.2 Qualidade do concreto**

O desempenho de uma estrutura está diretamente relacionado à qualidade que o concreto apresenta. Para que o concreto consiga resistir às agressividades do ambiente é necessário em primeiro lugar que ele apresente baixa permeabilidade para que os agentes agressivos não penetrem por seus poros. Os fatores que influenciam na permeabilidade e por consequência na resistência do concreto são a relação água/cimento, os tipos de cimentos, os aditivos, a dimensão dos agregados, o adensamento e a cura do concreto na obra, entre outros (BERTOLINI, 2010)

### **3.3.3 Espessura de cobrimento**

A principal função da espessura de cobrimento das peças de uma estrutura é realizar a proteção das mesmas contra as agressividades do ambiente em que estão inseridas. O cobrimento nominal forma uma barreira entre as ações físicas e químicas do ambiente e as estruturas, ele protege principalmente os vergalhões de aço do concreto armado. A escolha do cobrimento adequado para o ambiente quimicamente agressivo deve seguir a NBR 6118 (ABNT, 2014), pois com a espessura adequada o risco de degradação é reduzido (WEBER, 2014).

### **3.3.4 Controle da fissuração**

As fissuras são patologias que ocorrem nos concretos, elas podem causar uma série de danos à estrutura, é um fenômeno que pode ocorrer devido à retração do concreto, a sobrecarga nas estruturas, o mau posicionamento da armadura, entre outros. Controlar as fissuras significa assegurar que estas estarão dentro dos limites impostos pela NBR 6118 (ABNT, 2014), pois as fissuras são nocivas as estruturas, elas permitem a entrada de agentes agressivos que são capazes de causar a corrosão das armaduras, a redução da resistência e da durabilidade, degradando assim a estrutura de um edifício. A eliminação das fissuras na estrutura não deve ser uma solução apenas de caráter corretivo, deve-se buscar a causa do surgimento dessas patologias (NAKAMURA, 2018).

### **3.3.5 Controle de qualidade no canteiro de obras**

A fase de execução de uma obra é tão importante quanto à elaboração e especificação correta de um projeto. É no canteiro de obras que irá ser realizada a execução do projeto, por isso cabe aos responsáveis analisar todas as atividades que serão executadas com o intuito de minimizar os erros construtivos. Dentre os itens mais importantes a serem analisados dentro do canteiro de obras estão à verificação da qualidade dos materiais utilizados, a averiguação da correta execução dos serviços, a análise dos detalhes construtivos, dentre outros (BERTOLINI, 2010).

## **3.4 MANUTENÇÃO**

Segundo a NBR 5674 (ABNT, 2012) "o sistema de manutenção inclui meios para prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes". A manutenção visa preservar o desempenho estabelecido em projeto e minimizar a depreciação patrimonial.

A manutenção não deve ser entendida apenas como a recuperação do desempenho da estrutura que foi ou será perdida, mas como o prolongamento da vida útil.

A manutenção de edifícios pode ser dividida em dois tipos diferentes, a manutenção periódica e a manutenção corretiva. Diante disso a manutenção periódica é a primeira etapa do processo de manutenção, é a análise regular do edifício, fator importante para que a

detecção de patologias aconteça antes que seus efeitos danosos ocorram (LOURENÇO & MENDES, 2011).

A manutenção de caráter corretivo tem como função recuperar a estrutura que passa a apresentar um desempenho mínimo. Esse tipo de manutenção é emergencial, devendo ser realizada rapidamente para evitar maiores problemas. Um meio de evitar esse tipo de manutenção que muitas vezes possui um custo elevado é a utilização da manutenção corretiva, que não permite a ocorrência de patologias graves nas estruturas (LOURENÇO & MENDES, 2011).

O custo para execução de manutenções corretivas é relativamente maior quando comparado aos custos das manutenções periódicas, que são capazes de localizar as patologias no começo, eliminando deste modo problemas maiores. Essa diferença de custo se deve ao fato de que a manutenção corretiva deve acontecer de maneira rápida e pode ainda requerer uma equipe especializada para realizar a manutenção e evitar maiores danificações (SIENGE, 2014).

## 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Diante do exposto observa-se que a durabilidade e o desempenho das estruturas estão sujeito a ações do meio ambiente, neste intuito o programa experimental visa analisar as ações que o meio ambiente pode provocar sobre o concreto convencional após a retirada das fôrmas das peças, pois as atividades dos compostos nocivos sobre o concreto se iniciam assim que a estrutura é construída, sendo estas ações diretamente proporcionais ao tempo e ao composto de exposição. Desta forma o estudo visa analisar a influência que 4 ambientes agressivos podem provocar no concreto após a exposição de um mês aos agentes danosos.

### 4.1 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O programa experimental compreende a elaboração de concreto convencional utilizando cimento Portland CP-II Z 32, com a dosagem sendo realizada com base no método ACI/ABCP, disponível no Apêndice A, empregou-se um traço de concreto com um Fck de 20 MPa e um abatimento de  $90 \pm 10$  mm. A escolha deste cimento com adição de pozolana se deve ao fato dele apresentar maior durabilidade e impermeabilidade.

Após a produção mecânica do concreto realizada com o auxílio de uma betoneira são confeccionados 12 corpos de prova conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015). Os corpos de prova foram desmoldados e divididos em grupos, onde cada grupo contém 2 unidades. Posteriormente os corpos de prova passaram pelo processo de cura, eles foram encaminhados para a câmara úmida, onde 8 corpos de prova permaneceram por um período de 14 dias para em seguida serem encaminhados para os ambientes agressivos. Os outros 4 corpos de prova permaneceram na câmara úmida por 28 dias para posteriormente serem rompidos, analisando assim se a resistência esperada do concreto determinada no traço foi alcançada.

Os grupos em que os corpos de prova foram divididos são 5, onde 4 grupos simularam os ambientes agressivos mais o 1 grupo de controle. Estes grupos foram: Grupo 1: ambiente sem agressividade; Grupo 2: ambiente submerso em água; Grupo 3: ambiente com ações da natureza; e Grupo 4: ambiente submerso marinho, simulando desta maneira as diferentes situações em que as estruturas de concreto podem-se encontrar quando estão em contato com a água, seja ela doce ou salgada, e o ambiente de controle para verificar se a resistência dos corpos de prova foi alcançada.

Os corpos de prova que se encontram no ambiente sem agressividade, grupo 1, foram utilizados para a verificação das características visuais e mecânicas de um ambiente que não

contenha compostos nocivos. Os corpos de prova do grupo 2 foram submersos em uma caixa d'água circular contendo 1000 litros de água, submergidos por um período de 30 dias representando assim o concreto que se encontra em contato com a água. No grupo 3, o ambiente com ações da natureza, ou seja, a simulação da chuva os corpos de prova foram molhados diariamente pela manhã por um período de 30 minutos e posteriormente passaram por um processo de secagem ao ar livre, esses ciclos de molhagem e secagem ocorreu durante 5 dias da semana, e estas etapas no decorrer de um intervalo de 30 dias demonstrando assim a agressividade que a ação da chuva pode causar no concreto. Para o ambiente submerso marinho, grupo 4, houve há simulação da água marítima, possuindo como base o método adaptado de Lima (2017), os corpos de provas foram submersos por um prazo de 30 dias em uma solução de água combinada com 3,5% de cloreto de sódio (NaCl) e 5% de sulfato de sódio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), estes íons foram escolhidos pois possuem maior representatividade com a água do mar.

Decorrido o prazo de concepção de cada parte do experimento será analisado as características visuais como coloração, fissuras, trincas, presença de manchas, entre outras e também as características mecânicas através da compressão axial seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018) e tração por compressão diametral com base na NBR 7222 (ABNT, 2011).

#### **4.1.1 Caracterização dos agregados**

Antes de dar início ao traço de concreto é necessário caracterizar os agregados, ou seja, encontrar as propriedades indispensáveis que são utilizadas para a realização do cálculo da quantidade de cada componente que será empregado na mistura. Os agregados utilizados para o cálculo do traço de concreto foram submetidos a ensaio de caracterização com referência nas NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 52 (ABNT, 2009), NBR NM 53 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os ensaios de caracterização dos agregados foram realizados no laboratório de materiais de construção civil do Centro Universitário de Anápolis - UniEvangélica.

Os agregados que serão utilizados no traço de concreto serão para o agregado miúdo a areia média e para o agregado graúdo a brita 0 com as características essenciais definidas através do ensaio.

**Figura 1 - Caracterização do agregado miúdo**



Fonte: Própria autora, 2018.

**Figura 2 - Caracterização do agregado graúdo**



Fonte: Própria autora, 2018.

Os resultados obtidos através destes ensaios para a areia foram:

**Quadro 3 - Granulometria da areia**

Peneiras		Determinação		
Nº	mm	Peso retido (g)	% Retida	% Retida acumulada
8	2,4	26,4	8,8	8,8
16	1,2	36,6	12,2	21
30	0,60	68,6	22,87	43,87
50	0,30	134,2	44,73	88,6
100	0,15	32	10,67	99,27
Fundo	Fundo	2,2	0,73	100
Total		300	100	-
Módulo de finura: 2,62				

Fonte: Própria autora, 2018.

Massa específica: 2580 kg/m<sup>3</sup>

Massa unitária: 1510 kg/m<sup>3</sup>

Os resultados obtidos para a brita foram os seguintes:

Massa específica: 2810 kg/m<sup>3</sup>

Massa unitária: 1530 kg/m<sup>3</sup>

#### **4.1.2 Definição do traço**

O traço de concreto será realizado de acordo com o método ACI/ABCP. O método de dosagem ABCP é uma adequação do método de dosagem americano proposto pela ACI 211.1-81. A dosagem de concreto pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) utiliza a proporcionalidade entre cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, esse procedimento também faz o uso de tabelas e gráficos elaborados a partir de dados experimentais, o cálculo detalhado do traço se encontra no Apêndice A.

Os agregados utilizados para o cálculo do traço de concreto foram submetidos a ensaios de caracterização, como citado anteriormente.

Após os cálculos o traço de concreto encontrado para o experimento foi 1:1,91:1,99:0,53 e para realizar a confecção de 12 corpos de provas as quantidades de materiais que devem ser utilizados é de 9 kg de cimento, 17,19 kg de areia, 17,91 kg de brita e 4,77 kg de água.

#### 4.1.3 Produção do concreto

A produção do concreto foi realizada no laboratório de materiais de construção civil do Centro Universitário de Anápolis - UniEvangélica. O primeiro passo foi à realização do peneiramento do agregado graúdo com o auxílio do vibrador e de uma peneira de 4,8 mm para que os materiais finos presentes na brita 0 passassem pela peneira, não influenciando desta forma nas propriedades do concreto.

**Figura 3 - Peneiramento do agregado graúdo**



Fonte: Própria autora, 2018.

Após esta etapa foi realizado o peneiramento do agregado miúdo, ou seja, a areia média utilizando uma peneira e um carrinho de mão para a realização deste procedimento, esta fase tem a finalidade de retirar as impurezas e pedregulhos que estavam presentes na areia.

**Figura 4 - Peneiramento do agregado miúdo**



Fonte: Própria autora, 2018.

Ocorreu a separação da quantidade de cada material calculado no traço para assim iniciar a produção do concreto, primeiramente foi adicionada na betoneira a brita 0 e um pouco de água, posteriormente foi adicionado todo o cimento para que houvesse uma boa distribuição da água para cada partícula de cimento, em seguida foi colocada a areia média que faz um tamponamento dos materiais já colocados e por último o restante da água. O tempo de mistura foi o tempo necessário para que houvesse a homogeneização de todos os materiais.

**Figura 5 - Mistura do concreto na betoneira**



Fonte: Própria autora, 2018.

Após a realização da mistura foi executado o slump test para a verificação do abatimento do concreto, para isso foi utilizado a NBR NM 67 (ABNT, 1998), o slump test consiste em um ensaio usado para determinar a trabalhabilidade do concreto. Para a verificação do slump test coloca-se o concreto em uma forma tronco-cônica sobre uma superfície limpa, homogênea e impermeável, o concreto deve ser disposto em três camadas semelhantes, adensadas com 25 golpes cada, sendo que na segunda e na terceira camada os golpes não devem penetrar a camada inferior, posteriormente a forma é retirada realizando-se a medida da diferença entre a altura da forma e a altura da massa de concreto. O slump test obtido foi de 200 mm.

**Figura 6 – Slump test do concreto**

Fonte: Própria Autora, 2018.

Subsequentemente realiza-se a moldagem dos 12 corpos de provas utilizando moldes cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, a moldagem é feita seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2015), os moldes dos corpos de prova foram revestidos com uma fina camada de óleo mineral, posteriormente foi colocado o concreto no molde, sendo ele dividido em duas camadas iguais, cada camada foi adensada com 12 golpes, onde os golpes da última camada não podem atingir a camada inferior. Após a moldagem dos 12 corpos de prova foi realizado a identificação de cada um com o tempo de cura necessário e o ambiente agressivo em que eles estariam dispostos.

**Figura 7 - Moldagem dos corpos de prova**



Fonte: Própria autora, 2018.

Os corpos de prova permaneceram em repouso por um período de 24 horas, posteriormente eles foram desmoldados e encaminhados para a câmara úmida para ser realizado o processo de cura como citado no item 2.5.5 – cura.

**Figura 8 - Corpos de prova moldados e identificados**



Fonte: Própria autora, 2018

#### 4.1.4 Cura dos corpos de prova

Os 8 corpos de provas que serão submetidos aos ambientes do grupo 1, do grupo 2, do grupo 3 e pôr fim do grupo 4 obtiveram um tempo de cura igual há 14 dias para desta forma demonstrar o que ocorre nas construções de grandes obras posteriormente a etapa da desforma das estruturas. Os 4 corpos de prova que deverão ser utilizados para a verificação da resistência permanecerão na cura por um período de 28 dias.

**Tabela 1 - Tempo de cura dos corpos de prova**

<b>Corpos de provas de cada ambiente</b>	<b>Quantidade de corpos de prova</b>	<b>Dias na câmara úmida</b>
Grupo 1: ambiente sem agressividade	2 unidades	14 dias
Grupo 2: ambiente submerso em água	2 unidades	14 dias
Grupo 3: ambiente com ações da natureza	2 unidades	14 dias
Grupo 4: ambiente marinho submerso	2 unidades	14 dias
Grupo de controle	4 unidades	28 dias

Fonte: Própria autora, 2018.

Finalizado o tempo de cura os corpos de prova seguirão para seus respectivos ambientes para que ocorra a simulação das agressividades.

**Figura 9 - Cura dos corpos de prova**



Fonte: Própria autora, 2018.

#### 4.1.5 Disposição nos ambientes agressivos

Para compreender o que os ambientes agressivos podem causar nas estruturas de concreto foi realizado a simulação de quatro ambientes quimicamente agressivos, estes que ocorrem com grande frequência nas regiões do Brasil, dentre eles estão o grupo 1 que não apresenta um risco de deterioração, o grupo 2 e o grupo 3 com perigo de deterioração insignificante, e o grupo 4 com risco de deterioração das estruturas elevado.

##### 4.1.5.1 Grupo 1: ambiente sem agressividade

Para o ambiente sem agressividade os corpos de prova foram mantidos na câmara úmida por 14 dias, posteriormente permaneceram em uma sala fechada onde ficaram livres de qualquer agressividade que pudesse comprometer a estrutura para subseqüentemente serem analisada a resistência a compressão axial, a resistência a tração por compressão diametral e as características visuais.

**Figura 10 - Corpos de prova no ambiente sem agressividade**



Fonte: Própria autora, 2018.

#### 4.1.5.2 Grupo 2: ambiente submerso em água

O concreto que se encontra submerso é a solução para obras que precisam ser executadas parcialmente ou completamente dentro da água como a canalização do leito de um rio, a construção de pontes e usinas hidrelétricas, entre outros. As estruturas submersas em água doce se encontram dentro da classe de agressividade ambiental fraca, sendo seu risco de deterioração considerado insignificante (MAPA DE OBRA, 2018).

Para a simulação deste ambiente os corpos de prova foram colocados submersos em uma caixa d'água de 1000 litros contendo em seu interior água doce, essa caixa d'água se encontra dentro da câmara úmida do Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis - UniEvangélica, os corpos de prova permaneceram imerso por um período de 30 dias para então ser analisado as características visuais e as características mecânicas. É importante ressaltar que está simulação do ambiente submerso não considera os efeitos que a pressão pode oferecer sobre a ocorrência das patologias.

**Figura 11 - Corpos de prova submersos em água**



Fonte: Própria autora, 2018.

#### 4.1.5.3 Grupo 3: ambiente com ações da natureza

O intemperismo consiste em ações da natureza como as chuvas, os ventos, o gelo e o sol, esses elementos presentes em todas as regiões são capazes de provocar o surgimento de manchas, fissuras, trincas e eflorescências que degradam as estruturas e as levam a uma redução da capacidade de suportar as cargas.

Para a demonstração desse ambiente os corpos de prova passaram por ciclos de molhagem e secagem para representar a ação da chuva, ou seja, condições climáticas em que as estruturas estão expostas. Os ciclos de molhagem e secagem sucederam-se durante 5 dias da semana onde os corpos de prova foram submersos em água doce por um período de 30 minutos para que assim o líquido penetrasse por todos os poros, em seguida eles passaram pelo processo de secagem ao ar livre para que a água pudesse então evaporar, assim o ciclo se reproduz no dia posterior. Todo este processo de umedecer e secar ocorreu em um prazo de 30 dias, para que então seja realizada a verificação das características dos corpos de prova.

**Figura 12 - Corpos de prova submersos por um período de 30 minutos**



Fonte: Própria autora, 2018.

**Figura 13 - Corpos de prova secando ao ar livre**



Fonte: Própria autora, 2018.

#### 4.1.5.4 Grupo 4: ambiente submerso marinho

O ambiente marinho é muito agressivo devido à salinidade da água e também aos altos níveis de íons de cloreto, de sulfato, de sódio, de magnésio, de cálcio, de potássio, entre outros que presentes nas águas marinhas agem como um acelerador no processo de degradação das estruturas, ocorrendo também à manifestação de patologias (LIMA, 2017).

O ambiente marinho contém quatro zonas com diferentes processos de degradação, são elas zona submersa, zona de respingos de maré, zona de atmosfera marinha e zona de variação de maré (BALESTRA. et al.,2017).

Para a simulação desse ambiente foi utilizado uma balde com capacidade para 10 litros de água e uma solução combinada de 3,5% de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) e 5% de sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) que segundo Lima (2017), são os íons que mais se relacionam com a representatividade da água do mar.

**Figura 14 - Corpos de prova e balde com água para simulação do ambiente marinho**



Fonte: Própria autora, 2018.

Na elaboração da solução foram utilizados 6,70 kg de água, o suficiente para que os corpos de prova ficassem cobertos, 335 g de sulfato de sódio e 234,5 g de cloreto de sódio, obtêm-se uma solução homogênea através da mistura desses componentes. Os dois corpos que serão utilizados para análise das características visuais e para o ensaio de compressão axial e de tração por compressão diametral, após os 14 dias de cura, foram submersos nesta solução para assim demonstrar como este ambiente afeta as estruturas de concreto convencional.

**Figura 15 - Cloreto de sódio**



Fonte: Própria autora, 2018.

**Figura 16 - Sulfato de sódio**



Fonte: Própria autoria, 2018.

**Figura 17 - Simulação do ambiente marinho submerso**



Fonte: Própria autoria, 2018.

## 5 RESULTADOS

A primeira etapa é a realização da verificação da resistência atingida pelos corpos de prova através da compressão axial. Os corpos de prova de concreto convencional deverão ao final da cura de 28 dias alcançar uma resistência de no mínimo 20 MPa, assim como determinado para o experimento, elucidando assim que o restante dos corpos que prova que foram sujeitos aos respectivos ambientes atingiriam a resistência. O rompimento destes corpos de prova demonstrou uma resistência média de 29,1 MPa.

### 5.1 ANÁLISE VISUAL

A análise visual dos corpos de provas dispostos em cada ambiente tem como principal função a verificação das manifestações das patologias, como fissuras, manchas, trincas e eflorescências que podem ocorrer devido à exposição aos ambientes quimicamente agressivos.

#### 5.1.1 Grupo 1: ambiente sem agressividade

Os corpos de prova que foram submetidos ao ambiente sem agressividade apresentaram uma pequena porosidade, sendo a possível origem deste problema relacionado a um adensamento insuficiente ou ao fator da relação água/cimento que foi utilizado traço. Apresenta ainda uma coloração uniforme, sem a presença de manchas, e também não possui a presença de fissuras. Sendo assim, utilizado como controle e parâmetro de comparação para os outros grupos de tratamentos.

**Figura 18 – Corpo de prova sem a presença de patologias**



Fonte: Própria autora, 2018.

**Figura 19 – Corpo de prova do grupo 1 sem a presença de patologias**

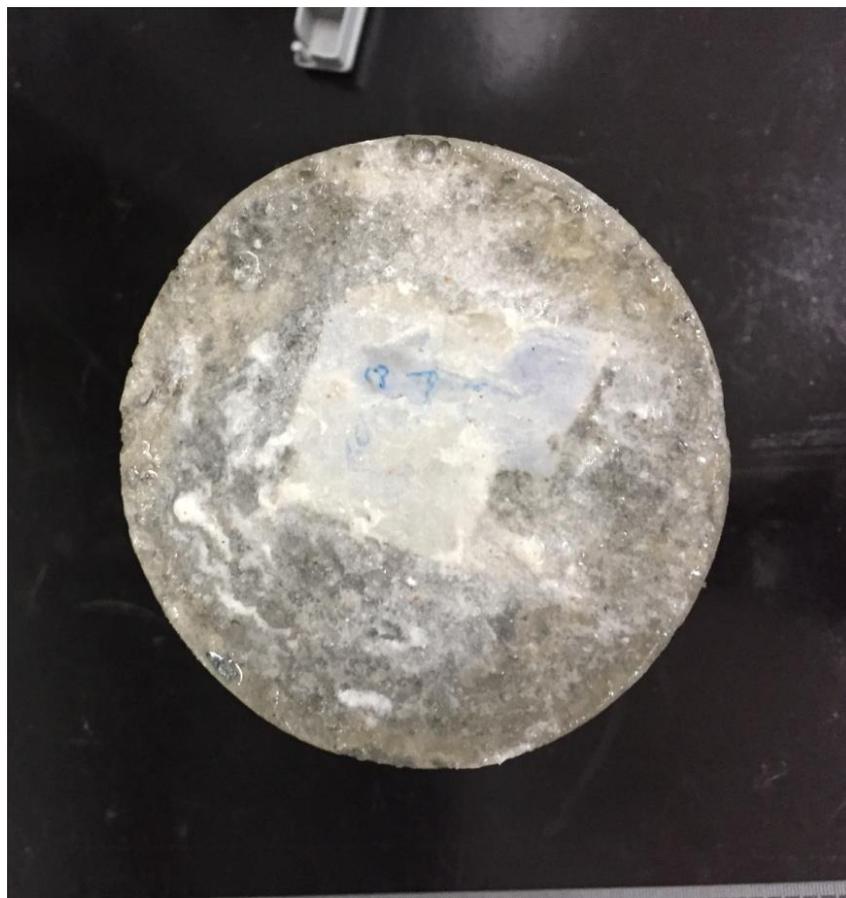


Fonte: Própria autora, 2018.

### 5.1.2 Grupo 2: ambiente submerso em água

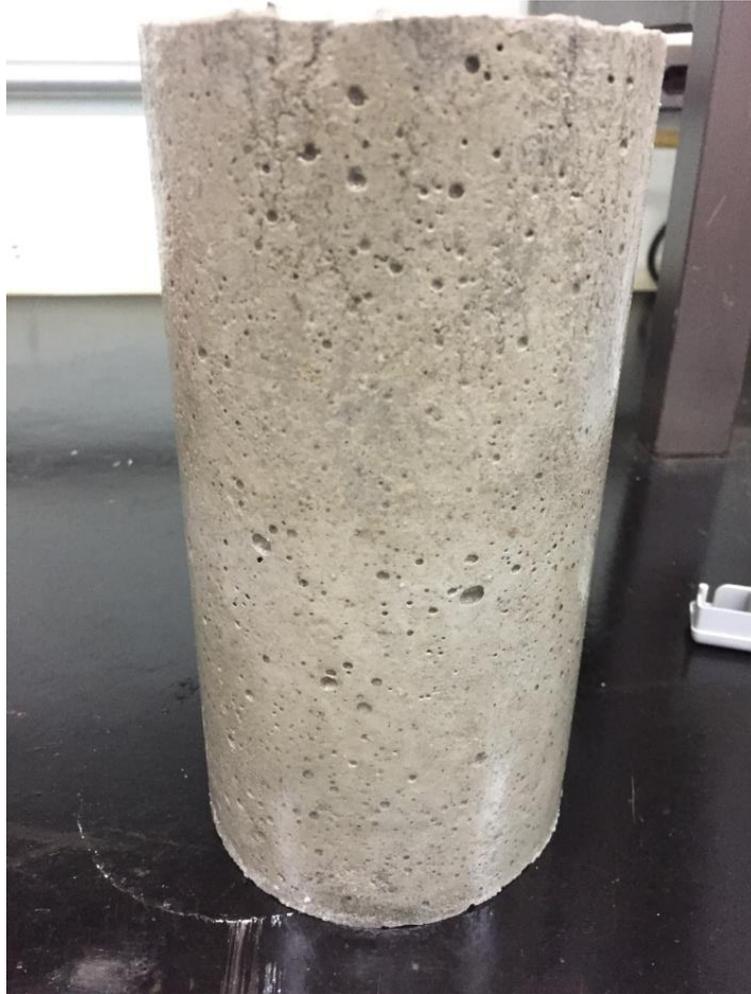
Os corpos de prova que foram submersos em água apresentaram em sua estrutura manchas brancas e também pequenas trincas na superfície principalmente na parte da base, sendo essas manchas brancas sinais da eflorescência causada pela lixiviação. Foi possível notar ao longo de todo o corpo de prova a presença de algumas descolorações. A porosidade quando comparada com os corpos de prova do grupo 1 demonstrou-se similar.

**Figura 20 - Corpo de prova do grupo 2 com manchas brancas**



Fonte: Própria autora, 2018.

**Figura 21 - Corpos de prova do grupo com a presença de descoloração e pequenas trincas**



Fonte: Própria autora, 2018.

### **5.1.3 Grupo 3 ambiente com ações da natureza**

No ambiente que simula a ação da natureza os corpos de prova demonstraram poucas manifestações patológicas visíveis, a porosidade foi compatível com a dos corpos de prova do ambiente sem agressividade, além disso, não houve a presença de manchas brancas e trincas, entretanto foi possível observar o aparecimento de descolorações e também uma pequena mancha marrom indicando o início do processo de degradação do concreto.

**Figura 22 - Corpo de prova com início de degradação**



Fonte: Própria autora, 2018.

**Figura 23 - Corpo de prova apresentando descolorações**

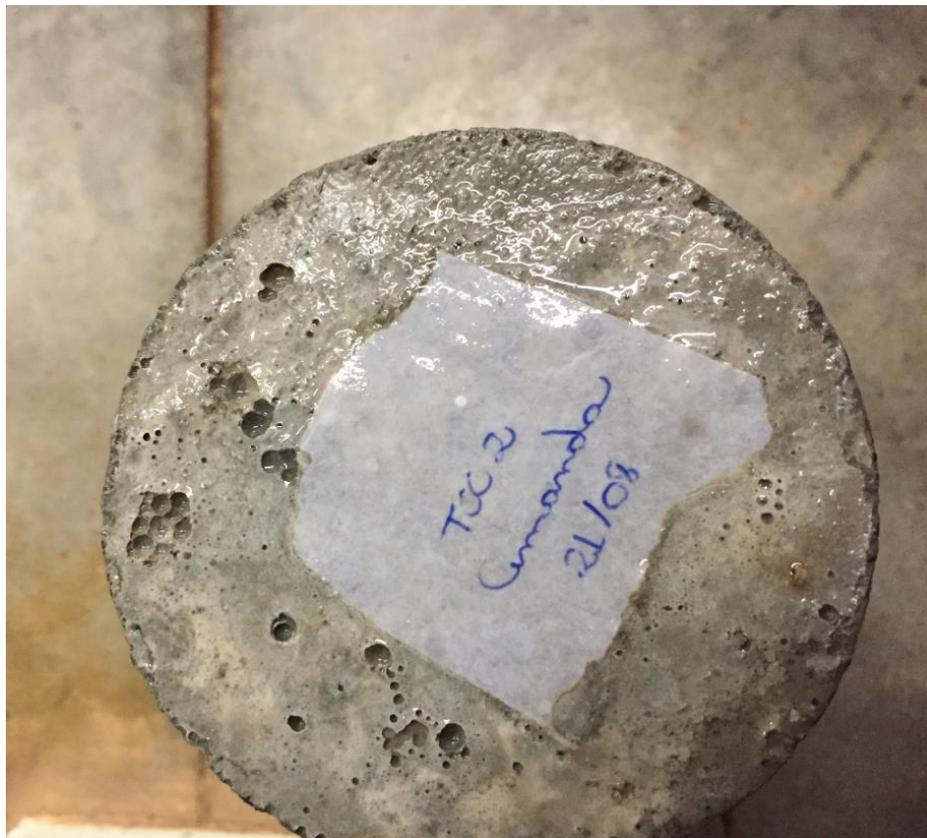


Fonte: Própria autora, 2018.

#### 5.1.4 Grupo 4: ambiente submerso marinho

Os corpos de prova que permaneceram na simulação do ambiente marinho por um período de 30 dias mostraram manchas brancas sobre a superfície e também pequenas linhas brancas demonstrando assim o início do processo de lixiviação dos compostos hidratados. A porosidade a olho nu se apresentou maior em alguns pontos quando comparado com os corpos de prova do ambiente sem agressividade.

**Figura 24 - Corpos de prova com manchas brancas na superfície**



Fonte: Própria autora, 2018.

**Figura 25 - Corpo de prova com a presença de linhas brancas**



Fonte: Própria autora, 2018.

É importante ressaltar que o balde em que os corpos de prova se encontravam apresentou em seu fundo fragmentos de concreto, proveniente do desgaste causado pela simulação da água marinha.

**Figura 26 - Fragmentos de concreto no fundo do balde**



Fonte: Própria autora, 2018.

## 5.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

No ensaio de compressão os corpos de prova são submetidos a uma força axial distribuída uniformemente em toda seção transversal (NBR 5739, ABNT 2018). O ensaio de compressão axial está diretamente relacionado com o desempenho, a segurança e a estabilidade da estrutura de concreto. Este ensaio foi realizado no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica e empregou-se a NBR 5739 (ABNT 2018).

**Figura 27 - Ensaio de compressão axial**



Fonte: Própria autora, 2018.

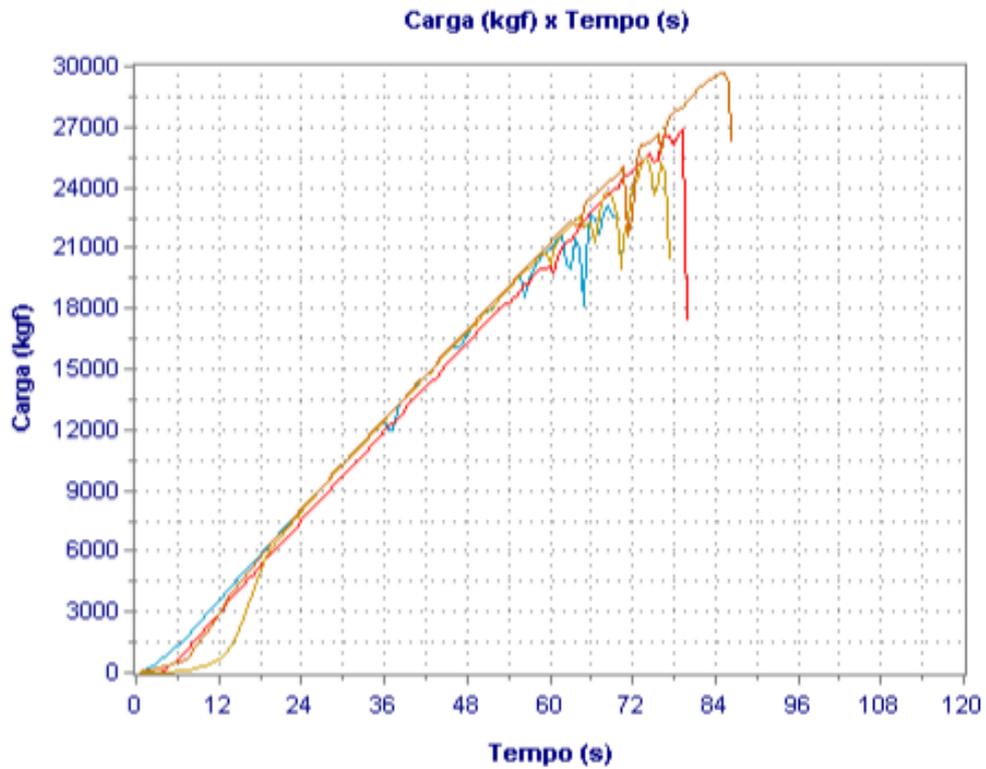
Os resultados obtidos através da realização do ensaio foram os seguintes:

**Tabela 2 - Resistência à compressão axial dos corpos de prova**

<b>Identificação dos corpos de prova</b>	<b>Idade dos corpos de prova</b>	<b>Tensão de ruptura</b>	<b>Carga de ruptura</b>
Grupo 1	45 dias	28,9 MPa	23.140 (kgf)
Grupo 2	45 dias	33,6 MPa	26.920 (kgf)
Grupo 3	45 dias	31,9 MPa	25.550 (kgf)
Grupo 4	45 dias	37,2 MPa	29.790 (kgf)

Fonte: Própria autora, 2018.

Gráfico 1 - Resistência à compressão axial



Fonte: Própria autora, 2018.

### 5.3 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

É o ensaio de tração mais utilizado, conhecido como ensaio brasileiro, pois foi desenvolvido por Lobo Carneiro em 1943. Para a realização deste ensaio o corpo de prova é colocado no sentido horizontal nos pratos da prensa, sendo aplicada uma força até a ruptura por compressão diametral. Para realizar esse ensaio utilizou a NBR 7222 (ABNT, 2011). Esse ensaio ocorreu no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica. (FREITAS, 2012; NBR 7222, ABNT 2011)

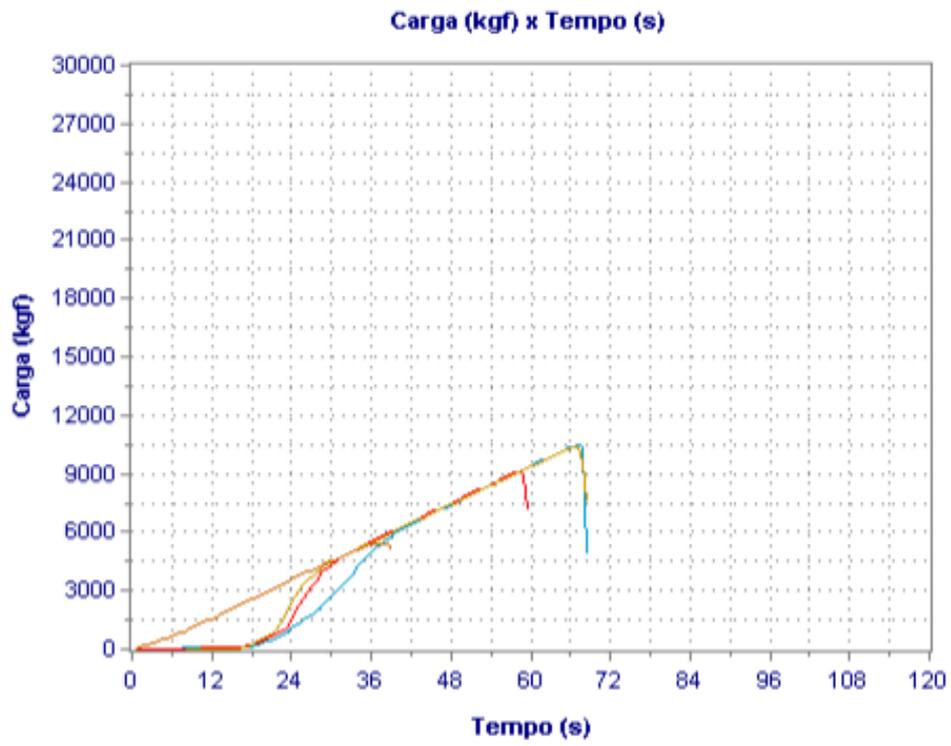
**Figura 28 - Ensaio de tração por compressão diametral**

Fonte: Própria autora, 2018.

**Tabela 3 - Resistência a tração por compressão diametral dos corpos de prova**

<b>Identificação dos corpos de prova</b>	<b>Idade dos corpos de prova</b>	<b>Tensão de ruptura</b>	<b>Carga de ruptura</b>
Grupo 1	45 dias	2,9 MPa	9.150 (kgf)
Grupo 2	45 dias	3,3 MPa	10.460 (kgf)
Grupo 3	45 dias	3,2 MPa	10.380 (kgf)
Grupo 4	45 dias	1,7 MPa	5.430 (kgf)

Fonte: Própria autora, 2018.

**Gráfico 2 – Resistência a tração por compressão diametral**

Fonte: Própria autora, 2018.

## 6 CONCLUSÃO

O estudo teve como principal intuito a análise da agressividade que os diferentes ambientes podem provocar nas estruturas de concreto convencional.

Através da análise dos resultados obtidos com o experimento relacionando-os com o embasamento teórico é possível observar que cada ambiente agressivo contribui de maneira significativa nas estruturas de concreto, sendo essa contribuição negativa em maior ou menor grau, entretanto essa contribuição é diretamente proporcional ao fator tempo e ao composto agressivo.

Os corpos de prova que foram utilizados para a verificação da resistência a compressão aos 28 dias obtiveram um resultado satisfatório, pois a resistência foi igual a 29,1 MPa, sendo assim maior do que o esperado devido ao desvio padrão utilizado para o cálculo do  $F_{cd}$  no traço de concreto, desta maneira os corpos de prova dos ambientes quimicamente agressivos também atingiram a resistência esperada.

É possível constatar que o grupo 1, ou seja, o ambiente que não possui agressividade não causou uma mudança nas estruturas de concreto, sendo assim ele não causa grandes danos, logo os cuidados necessários para as estruturas de concreto nesse ambiente são basicamente a manutenção e a prevenção.

Os corpos de prova do grupo 2 e do grupo 3 que possuíam como agente nocivo a água doce apresentaram grande presença de patologias, principalmente a presença de eflorescências causadas pela lixiviação. Desta forma é preciso tomar medidas especiais quando as estruturas forem submetidas a este ambiente, pois a lixiviação compromete a resistência do concreto.

Para os ambientes agressivos do grupo 2 e do grupo 3 através dos ensaios mecânicos de compressão axial e de tração por compressão diametral observou-se que houve um ganho de resistência em ambos ensaios mecânicos do concreto submetido há estes ambientes. O ganho de resistência pode ocorrer segundo Metha e Monteiro (2014), devido às reações de hidratação do cimento e ainda às reações da pozolânica presente no cimento. De acordo com Netto (2006) as reações pozolânicas têm início entre 7 e 15 dias após a mistura, quando a reação do cimento se apresenta em estado avançado.

O grupo 4, ambiente submerso marinho apresentou visualmente maior presença de patologias quando comparado com os outros grupos agressivos, também se observou que dentro dos grupos agressivos foi o ambiente que promoveu maior ganho de resistência na compressão axial. A elevada resistência para a compressão do grupo 4 de acordo com Silveira

(1996) ocorre porque a ação do sulfato de sódio pode elevar a resistência a compressão do concreto nas primeiras idades e ainda o ataque do sulfato ocorre de forma lenta indicando assim que a degradação da estrutura leva um maior tempo para ocorrer.

Em relação ao grupo 4 é possível observar ainda que foi o único grupo agressivo que apresentou uma minoração na resistência a tração por compressão diametral segundo Silveira (1996) essa ocorrência se deve ao fato que a resistência à tração é mais sensível ao ataque por sulfatos.

A maneira mais adequada de evitar o surgimento de patologias nas estruturas de concreto devido à agressividade dos ambientes é através de algumas medidas básicas como: cuidados durante a concepção do projeto estrutural de um edifício utilizando a NBR 6118 (ABNT, 2014) para determinar corretamente o ambiente agressivo, o cobrimento nominal e a classe de resistência do concreto. É necessária a atenção durante a execução da estrutura, a especificação e o controle tecnológico dos materiais utilizados, a realização de ações preventivas regularmente com o intuito de detectar as patologias antecipadamente e elaborar um programa de manutenção eficaz.

## 6.1 TRABALHOS FUTUROS

Uma sugestão para a realização de trabalhos futuros seria a fluência e o tempo necessário para que os ambientes agressivos causem uma redução na resistência do concreto. Como visto neste programa experimental os ambientes quimicamente agressivos inicialmente não causam uma redução significativa na resistência, eles causam uma elevação da resistência do concreto nas primeiras idades, principalmente em relação à resistência a compressão.

Conhecer o tempo necessário para que o concreto convencional apresente uma minoração na resistência à compressão axial e na resistência à tração por compressão diametral é de extrema importância para que os engenheiros sejam capazes de antever e evitar que ocorra a degradação das estruturas inseridas nestes ambientes.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edificações – requisitos para o sistema de gestão de manutenção.** Rio de Janeiro, 2012. 25p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – procedimento para moldagem e cura para corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015. 9p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018. 9p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento.** Rio de Janeiro, 2014. 238p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para o concreto – especificação.** Rio de Janeiro, 2005. 11p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011. 5p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados - determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro. 2006. 8p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro. 2009. 6p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro. 2009. 8p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro. 1998. 8p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro. 2003. 6p.
- AECWEB. **Cura do concreto: conheça cada técnica, suas vantagens e cuidados.** Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cura-do-concreto-conheca-cada-tecnica-suas-vantagens-e-cuidados\\_16242\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cura-do-concreto-conheca-cada-tecnica-suas-vantagens-e-cuidados_16242_10_0)>. Acesso em: 02 mai. 2018.
- AGUIAR, J. E. de. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis.** 2006. 173 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

AMORIM, A. A. de. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. 74 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

ASSUNÇÃO, J. W. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do Paraná**. 2002. 254 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83112/226913.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

BALESTRA, C. E. T.; LIMA, M. G. de; MEDEIROS JUNIOR, R. A.; MONTEIRO, A. J. A. E. **Parâmetros ambientais e materiais que afetam a penetração de cloretos em estruturas de concreto**: estudo de caso da Ilha dos Arvoeiros. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 13, n. 1, p.270-282, jun. 2017

BAUER, L.A F. **Materiais de construção 1**. vol 1. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 488 p.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção**: Patologia, prevenção e recuperação. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 414 p.

CAMPOS, A. M.; ROMERO, J. R. **Efeitos da temperatura no concreto**. Portal do concreto. Disponível em: <[http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/temperatura\\_concreto.html](http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/temperatura_concreto.html)>. Acesso em: 17 mai. 2018.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: Segundo a NBR6118:2014. 4 ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 415 p.

CIMENTO ITAMBÉ. **Início e fim da pega. Qual a utilidade?**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/inicio-e-fim-de-pega-qual-a-utilidade/>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

CIMENTO ITAMBÉ. **Proteja seu concreto**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/proteja-seu-concreto-3/>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

CONSTRUFACILRJ. **Adensamento do concreto: definição**. Disponível em: <<https://construfacilrj.com.br/adensamento-concreto-definicao/>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

CONSTRUFACILRJ. **Mistura e preparo do concreto**: mecânica e manual. Disponível em: <<https://construfacilrj.com.br/mistura-e-preparo-do-concreto/>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

CORSINI, R. **Ambientes agressivos**. Techné. 2013. Disponível em: <<http://techné17.pini.com.br/engenharia-civil/196/artigo294033-1.aspx>>. Acesso em: 02 mai. 2018.

DALDEGAN, E. **Aditivos para concreto: principais opções e vantagens**. Engenharia Concreta. 2017. Disponível em: <<https://www.engenhariaconcreta.com/aditivos-para-concreto-opcoes-e-vantagens/>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

ECIVIL. **Lixiviação.** Disponível em: <<http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-lixiviacao.html>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

FREITAS, R. P. **Controle de qualidade em concreto endurecido: ensaios mecânicos.** 2012. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

GRUPO IDD. **Aditivos para o concreto: melhor aplicação e propriedades.** Disponível em: <<https://www.idd.edu.br/blog/idd-news/aditivos-para-concreto-melhor-aplicacao-e-propriedades>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

GUABIROBA, R. T. **Patologias em canais de drenagem em concreto: estudo de caso de BH.** 2012. 62 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia.** vol 1 e vol 2. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011. 1902 p.

KULISCH, D. **Ataque por sulfatos em estrutura de concreto.** 2011. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

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

LIMA, R. da S. **Efeito do ciclo de molhagem e secagem na resistividade elétrica superficial e na resistência à compressão do concreto: simulação da agressividade marinha.** 2017. 114 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LOURENÇO, L. da C.; MENDES, L. C. **Deteção preventiva de patologias em edificações.** Techné. 2011. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/167/deteccao-preventiva-de-patologias-em-edificacoes-285852-1.aspx>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

MAPA DA OBRA. **Concreto submerso é a melhor escolha para estruturas de fundação abaixo d'água.** 2018. Disponível em: <<http://www.mapadaobra.com.br/negocios/utilize-concreto-submerso/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

MAPA DA OBRA. **Problemas causados pela lixiviação do concreto.** 2017. Disponível em: <<http://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/os-problemas-causados-pela-lixiviacao-do-concreto/>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

MAPA DA OBRA. **Traço de concreto: a importância do controle de água.** 2016. Disponível em: <<http://www.mapadaobra.com.br/inovacao/traco-de-concreto-a-importancia-do-controle-de-agua/>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

MARTINS, P. B. M. **Influência da granulometria do agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto.** 2008. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

MEDEIROS, H. **Doenças concretas**. Techné. 2010. Disponível em: <<http://technel7.pini.com.br/engenharia-civil/160/doencas-concretas-conheca-as-principais-causas-de-patologias-de-287763-1.aspx>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

MEDEIROS JUNIOR, R.A; LIMA, M. G; ARAÚJO, V. C. C; LIGIERA. M. C. **Avanço do ataque do ácido acético ao concreto**: influência da idade de exposição. 2016. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/489> >. Acesso em: 16 abr. 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedade e materiais. 2ed. São Paulo: Ibracon, 2014. 751p.

MORAES, J. S. de L. J. **Aditivos para concreto**. 2016. Disponível em: <[http://fait.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/HtBS04Wx0iBUAD2\\_2014-4-22-17-20](http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/HtBS04Wx0iBUAD2_2014-4-22-17-20)>. Acesso em: 19 abr. 2018.

MUNIZ, M. V. S. **A influência dos aditivos aceleradores e retardadores de pega sobre a pasta de cimento Portland**. 2008. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

NADALINI, A. C. V.; BISPO, A. de O. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado em Ambiente Marítimo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS (COBREAP), 19 Foz do Iguaçu: Ibape, 2017. 25 p. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/64518565-Patologia-em-estruturas-de-concreto-armado-em-ambiente-maritimo.html>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

NAKAMURA, J. **Cobrimento de armaduras**. Equipe de Obra. 2011. Disponível em: <<http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/45/cobrimento-de-armaduras-espessura-de-camada-de-concreto-sobre-250451-1.aspx>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

NAKAMURA, J. **Cobrimento de armaduras determina durabilidade de estruturas de concreto**. AECWEB. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cobrimento-de-armaduras-determina-durabilidade-de-estruturas-de-concreto\\_14548\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cobrimento-de-armaduras-determina-durabilidade-de-estruturas-de-concreto_14548_10_0)>. Acesso em: 09 mai. 2018.

NAKAMURA, J. **Fissuras põem em risco a vida útil das estruturas de concreto**. AECWEB. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/fissuras-poem-em-risco-a-vida-util-das-estruturas-de-concreto\\_16243\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/fissuras-poem-em-risco-a-vida-util-das-estruturas-de-concreto_16243_10_0)>. Acesso em: 28 mai. 2018.

NETO, F. B. F. **Determinação da finura do cimento através da peneira nº 200 (NBR 11579:2012)**. Palmas: Centro Universitário Luterano de Palmas, 2013. 8p.

NETTO, R. M. **Materiais Pozolânicos**. 2006. 148 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 887 p.

NOGUEIRA, K. A. **Reação álcali-agregado: diretrizes e requisitos da ABNT NBR 15577/2008**. 2010. 81 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

PORTAL DO CONCRETO. **Concreto**. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/concretos.html>>. Acesso em: 03 mar. 2018.

ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, A. L. **Considerações sobre a vida útil do concreto**. In: 1º Encontro Nacional de Pesquisa - Projeto - Produção em concreto pré - moldado. 1, São Carlos, 2005. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab\\_pdf/125.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/125.pdf)>. Acesso em: 03 mai. 2018.

SANTOS, C. F.dos. **Patologia de estruturas de concreto armado**. 2014. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SANTOS, M. R. G. dos. **Deterioração das estruturas de concreto armado: Estudo de caso**. 2012. 109 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SIENGE. **Construção civil: 10 razões para fazer manutenção preventiva**. 2014. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/10-raoes-para-comecar-ja-a-manutencao-preventiva-nas-maquinas-da-sua-construtora/>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

SIQUEIRA, L. V. M. **Laboratório de materiais de construção-I: 1º parte-cimento**. 2008. Disponível em: <[http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmcc/materiais/ensaios\\_tecnologicos\\_cimento\\_portland.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmcc/materiais/ensaios_tecnologicos_cimento_portland.pdf)>. Acesso em: 25 mai. 2018.

SILVEIRA, A. A. **A utilização de cinza de casca de arroz com vistas a durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos**. 1996. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologias, recuperação e reforço em estruturas de concreto**. 1 ed. São Paulo: PINI, 2009. 257 p.

TECNOSIL. **Aditivos para concreto: principais tipos e para que servem**. Disponível em: <<http://www.tecnosilbr.com.br/conteudo/?p=81>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

VEDACIT. **Catálogo aditivos para concreto, argamassas e caldas de cimento**. 12 ed. 1999. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/profNICODEMOS/catlogo-sobre-aditivos-para-concretos-e-argamassas>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

WEBER, L. F. L. **Cobrimento de armadura em estruturas de concreto armado: Análise comparativa entre os valores projetados e executados nas obras do vale Taquari**. 2014. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10 ed. São Paulo: PINI, 2009. 769 p.

## APÊNDICE A – Cálculo do traço de concreto

Cálculo para a definição do traço de concreto.

Dados para a dosagem do concreto:

$F_{ck} = 20$  MPa                       $Sd = 5,5$  MPa                      abatimento  $90 \pm 10$  mm  
 CP II Z 32                      MF = 2,62                      diâmetro máximo da brita 0 = 9,5

**Tabela 1 – Massa específica e massa unitária dos agregados**

	Cimento kg/m <sup>3</sup>	Areia kg/m <sup>3</sup>	Brita kg/m <sup>3</sup>
<b>Massa específica</b>	3100	2580	2810
<b>Massa unitária</b>	-	1510	1530

Fonte: Própria autoria, 2018.

$$F_{cd} = F_{ck} + (1,65 * Sd)$$

$F_{cd}$  = resistência média de cálculo, em MPa;

$F_{ck}$  = resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

$Sd$  = desvio-padrão da dosagem em função do grau de controle na produção do concreto, em MPa;

- $Sd = 4,0$  MPa, controle rigoroso.
- $Sd = 5,5$  MPa, controle razoável.
- $Sd = 7,0$  MPa, controle regular.

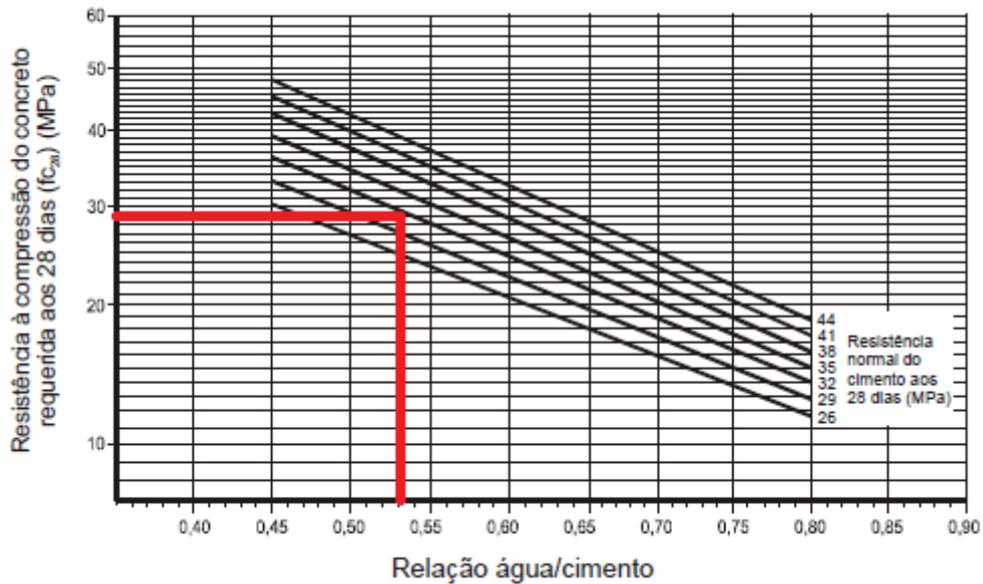
$$F_{cd} = F_{ck} + (1,65 * Sd)$$

$$F_{cd} = 20 + (1,65 * 5,5)$$

$$F_{cd} = 29,075 \text{ MPa}$$

Fixa-se a relação água/cimento (a/c). O seu valor é estimado com base na curva de Abrams, onde emprega-se o tipo de cimento e a resistência do concreto aos 28 dias.

**Gráfico 1 - Para determinação da relação água cimento (a/c) em função da resistência do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.**



Fonte: Assunção, 2002.

$$a/c = 0,53$$

A tabela 2 apresenta a estimativa inicial do consumo de água por metro cúbico de concreto, sendo estes valores constantes.

**Tabela 2 - Estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto em função do diâmetro máximo característico do agregado e do abatimento da mistura**

Abatimento (mm)	Diâmetro máximo do agregado graúdo				
	9,50	19,00	25,00	32,00	38,00
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Assunção, 2002.

$$\text{Água} = 230 \text{ litros.}$$

O fator água/cimento é uma fração, ela divide o peso da água pelo peso do cimento, conforme abaixo:

$$a/c = \frac{\text{água}}{\text{cimento}}$$

$$0,53 = \frac{230}{\text{cimento}}$$

$$\text{Cimento} = 433,96 \text{ kg}$$

A Tabela 3 possui valores que foram definidos experimentalmente pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a tabela apresenta os volumes compactados a seco de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função do diâmetro máximo característico do agregado graúdo ( $\phi_{\text{máx.}}$ ) e do módulo de finura (MF) do agregado miúdo.

**Tabela 3 - Volume compactado seco (Vpc) do agregado graúdo por metro cúbico de concreto**

MF	Diâmetro máximo do agregado graúdo ( $\phi_{\text{máx.}}$ )				
	9,5 (mm)	19(mm)	25(mm)	32(mm)	38(mm)
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Assunção, 2002.

Através da equação obtém-se o consumo de agregado graúdo:

$$\text{Massa brita} = 0,565 * \text{MU}$$

$$\text{Massa brita} = 0,565 * 1530$$

$$\text{Massa brita} = 864,45 \text{ kg}$$

A estimativa do consumo de agregado miúdo, ou seja a areia, para 1,0 metro cúbico de concreto é dado pela equação abaixo:

$$\text{Areia} = 1 - \left( \frac{\text{massa cimento}}{\text{ME cimento}} + \frac{\text{massa areia}}{\text{ME areia}} + \frac{\text{massa água}}{\text{ME água}} \right)$$

$$\text{Areia} = 1 - \left( \frac{433,96}{3.100} + \frac{864,45}{2.810} + \frac{230}{1.000} \right)$$

$$\text{Areia} = 0,322 \text{ m}^3$$

$$\text{Massa areia} = 0,322 * \text{MU}$$

$$\text{Massa areia} = 0,322 * 2580$$

$$\text{Massa areia} = 830,76 \text{ kg}$$

Resumo da quantidade:

Cimento: 433,96 kg

Areia: 830,76 kg

Brita: 864,45 kg

Água: 230 kg

Traço do concreto:

A escrita do traço é feita na sequência:

**Cimento:Areia:Brita:Água (Kg)**

433,96:830,76:864,45:230

Sendo assim o traço unitário do concreto:

1:1,91:1,99:0,53

Sendo a quantidade de corpos de prova para cada grupo de tratamento igual a:

**Tabela 4 – Quantidade de corpos de prova para cada grupo**

<b>Grupo de agressividade</b>	<b>Quantidade de corpos de prova</b>
Grupo 1: ambiente sem agressividade	4 corpos de prova cilíndricos
Grupo 2: ambiente submerso em água	2 corpos de prova cilíndricos
Grupo 3: ambiente com ações da natureza	2 corpos de prova cilíndricos
Grupo 4: ambiente submerso marinho	2 corpos de prova cilíndricos

Fonte: Própria autora, 2018.

Para a confecção de 12 corpos de provas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura será utilizado uma quantidade de:

Cimento: 9 kg

Areia: 17,19 kg

Brita: 17,91 kg

Água: 4,77 kg