

**SOCIEDADE EDUCACIONAL PINHALZINHO - HORUS FACULDADES**  
**CURSO DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL**

**ADIÇÃO CRISTALIZANTE COMO DISPOSITIVO DE AUMENTO DA**  
**LONGEVIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

**João Carlos Babaresco**

PINHALZINHO – SC  
2021

**JOÃO CARLOS BABARESCO**

**ADIÇÃO CRISTALIZANTE COMO DISPOSITIVO DE AUMENTO DA  
LONGEVIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a  
Instituição da Horus Faculdades, como parte dos  
requisitos exigidos para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.(a) Esp. Micheli Alba

JOÃO CARLOS BABARESCO

ADIÇÃO CRISTALIZANTE COMO DISPOSITIVO DE AUMENTO DA  
LONGEVIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi julgada para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, e aprovada em sua forma final pelo curso de Engenharia Civil da Horus Faculdades.



---

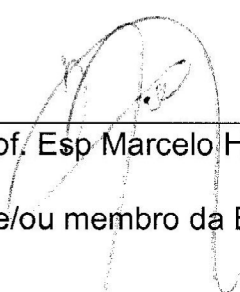
Prof. Esp Micheli Alba  
Coordenador do curso de Engenharia Civil  
Horus Faculdades

Apresenta à comissão examinadora integrada pelos seguintes professores:



---

Prof. Esp Micheli Alba  
Presidente banca – Horus Faculdades



---

Prof. Esp Marcelo Henrique Bernardy

Orientador e/ou membro da Banca – Horus Faculdades



---

Prof. Esp Thiago Dutra  
Membro da Banca – Horus Faculdades

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus Pai, Criador de todas as coisas pelo dom da vida e por ter me abençoado com discernimento, inteligência, paciência e persistência para realizar este sonho de Bacharelado em Engenharia Civil.

Agradeço de todo coração ao meu pai Odir Lourenço Babaresco (in memorian) e a minha mãe Joanna Ester Babaresco por seu amor incondicional e por terem feito tudo que estava ao seu alcance para criar, educar e tornar seus filhos cidadãos de valor.

A minha sogra Marilene Vedovatto que foi mãe, fiadora, incentivadora e de certa forma mãe do meu filho durante este tempo de estudo. Agradeço também ao meu sogro Aloisio Gomes da Silva, meu primeiro incentivador na realização deste sonho que se confirma, pelo apoio, pela ajuda, pelo exemplo e por acreditar comigo neste sonho.

Ao meu filho que mesmo sem entender foi o estopim para minha decisão de voltar aos estudos e que por tantas vezes esperou o papai chegar da faculdade sempre com um sorriso no rosto.

À minha esposa, companheira de todas as horas, incentivadora, parceira, amiga, professora e sócia na vida, sem a qual nada disso seria possível. Ela que segurou as pontas tantas vezes e que me incentivou sempre de maneira especial em momentos de dificuldade e que sonha este sonho junto comigo.

Aos colegas e amigos que fiz durante estes cinco anos de formação especialmente os que estudam comigo, os quais dividiram comigo tantos momentos de aprendizado, sofrimento e felicidade.

Aos professores especialistas, mestres e doutores que passaram pela nossa caminhada acadêmica responsáveis por mais um “tijolo” na construção do muro do nosso aprendizado.

Ao Professor Esp. Everton César do Prado que nos proporcionou ao longo de nossa formação muitos desafios os quais serviram como escada na busca do conhecimento e na construção de uma formação mais sólida fazendo-nos pensar, trabalhar e de fato ser Engenheiros Civis ao longo de nosso processo de formação.

E por fim e não menos importante agradeço à Professora Esp. Micheli Alba, professora, amiga, incentivadora e orientadora na produção deste trabalho. Obrigado por sua paciência, seus conselhos, seus puxões de orelha e sua persistência. Seu conhecimento foi ímpar e sem ele este trabalho não teria a mesma valia.

A todos os que sonharam este sonho comigo agradeço de coração! Obrigado!

*Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.*

*Ayrton Senna da Silva*

BABARESCO, João Carlos. **ADIÇÃO CRISTALIZANTE COMO DISPOSITIVO DE AUMENTO DA LONGEVIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.** Ano: 2021. 47 pg. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Horus Faculdades, Pinhalzinho, 2021

## RESUMO

O prolongamento da vida útil das estruturas de concreto armado se faz necessário em razão da grande importância que elas têm para a humanidade. O concreto armado é um material poroso e herda estes poros ao longo de seu processo de formação. Há ainda microfissuras formadas durante a produção da pasta de cimento. A redução da vida útil das estruturas está diretamente ligada a estas características uma vez que os agentes agressivos (fluídos) penetram na estrutura e são transportados para seu interior utilizando-se da estrutura dos poros e das microfissuras. Através do levantamento bibliográfico feito durante esta pesquisa fica claro que a melhor forma de reduzir os agentes de transporte de substâncias para o interior do concreto é reduzindo sua porosidade. Através do presente trabalho buscou-se verificar se a adição cristalizante contribui neste sentido uma vez que se apresenta como um composto de base cimentícia o qual é adicionado no momento da dosagem do concreto na usina ou no local da obra e que tem por objetivo o preenchimento das porosidades e capilaridades através de seus cristais. Os ensaios em conformidade com as normas vigentes, são propostos para verificar a resistência à compressão e a taxa de absorção do concreto no estado endurecido ao se comparar amostras sem cristalizante e também com os percentuais indicados pelo fabricante da adição sendo 0,8% e 1% em relação à massa do cimento. Estes testes foram executados aos 28 e aos 56 dias e tendo-os como base de estudo ficou comprovado em um primeiro momento um aumento em torno de 7,3% na resistência à compressão da mistura quando utilizado 1% de adição cristalizante no quinquagésimo sexto dia. Já em relação à absorção, os resultados foram ainda mais satisfatórios ao conseguir uma redução de 24,85% na taxa de absorção dos corpos de prova com 1% de adição cristalizante em sua composição o que é um valor extremamente expressivo sendo que ao se diminuir a porosidade é reduzida também a permeabilidade e conseqüentemente o fluxo de substâncias que afetam a estrutura diretamente de maneira a permitir a ação de agentes patológicos. Através do presente estudo pode-se comprovar que o uso da adição cristalizante na proporção sugerida pode torná-la uma importante ferramenta de aumento da longevidade das estruturas de concreto armado.

**Palavras-chave:** Vida-útil. Concreto. Porosidade. Cristalizante. Longevidade.

BABARESCO, João Carlos. **ADDITION OF CRYSTALLIZING AS A DEVICE TO INCREASE THE LONGEVITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES.**  
Year: 2021. 47 pg. Civil Engineering Course Final Paper – Horus Faculdades, Pinhalzinho, 2021

### **ABSTRACT**

Prolonging the useful life of reinforced concrete structures is necessary due to the great importance they have for humanity. Reinforced concrete is a porous material and inherits these pores throughout its formation process. There are also micro cracks formed during the production of cement paste. The reduction in the useful life of structures is directly linked to these characteristics, since aggressive agents (fluids) penetrate the structure and are transported to its interior using the structure of pores and micro-cracks. Through the bibliographical survey carried out during this research, it is clear that the best way to reduce substances transport agents into the interior of the concrete is to reduce its porosity. Through the present work, it was sought to verify whether the crystallizing addition contributes in this sense since it presents itself as a cementitious-based compound which is added at the time of dosing the concrete in the plant or at the construction site and which has the purpose of filling of porosities and capillaries through its crystals. Tests in accordance with current standards are proposed to verify the compressive strength and absorption rate of concrete in the hardened state when comparing samples without crystallizer and also with the percentages indicated by the manufacturer of the addition being 0.8% and 1 % in relation to the cement mass. These tests were carried out at 28 and 56 days and having them as a study basis, an increase of around 7.3% in the compressive strength of the mixture was initially proven when 1% of crystallizing addition was used on the fifty-sixth day . In relation to absorption, the results were even more satisfactory by achieving a reduction of 24.85% in the absorption rate of specimens with 1% of crystallizing addition in their composition, which is an extremely expressive value, and when it decreases the porosity is also reduced the permeability and consequently the flux of substances that affect the structure directly in order to allow the action of pathological agents. Through the present study, it can be proved that the use of crystallizing addition in the suggested proportion can make it an important tool to increase the longevity of reinforced concrete structures.

**Keywords:** Useful life. Concrete. Porosity. Crystallizing. Longevity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Panteão Romano .....	12
Figura 2 - Fluxo de fabricação do cimento.....	15
Figura 3 - Distribuição dimensional dos poros do concreto.....	28
Figura 4 - Formação dos cristais no interior do concreto .....	31
Figura 5 - Mistura dos traços na betoneira .....	35
Figura 6 - Realização do teste de abatimento do tronco de cone (slump).....	36
Figura 7 - Corpos de Prova (CPs).....	37
Figura 8 - Processo de cura dos CPs em câmara úmida .....	37
Figura 9 - Processo de retificação dos CPs.....	38
Figura 10 – Prensa hidráulica utilizada no teste de rompimento dos CPs.....	39
Figura 11 - Gráfico do teste de Resistência à compressão axial .....	39
Figura 12 - CPs submersos para ensaio de absorção .....	41
Figura 13 - Gráfico do percentual de Redução de Absorção.....	42



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de composição do cimento Portland .....	16
Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA).....	26
Tabela 3 - Traço padrão.....	34
Tabela 4 - Redimensionamento do traço padrão para 30 Litros.....	35
Tabela 5 - Resultados do teste de Slump.....	36

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABCP	Associação Brasileira de Concreto Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARI	Alta Resistência Inicial
a/c	água/cimento
a.C.	antes de Cristo
BC	Baixo calor de hidratação
CPs	Corpos de Prova
d.C.	depois de Cristo
NBR	Norma Técnica Brasileira
RS	Resistente a Sulfatos
SP	São Paulo
VU	Vida Útil
VUP	Vida Útil de Projeto

## LISTA DE SÍMBOLOS

a/c	Água/cimento
Cm	Centímetros
Kg	Quilograma
Kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
m	Metros
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
mm	Milímetro
Mpa	Megapascal
Mpa/s	Megapascal por segundo
Tf	Tonelada-força
°C	Graus Celsius
%	Por cento

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	7
2	JUSTIFICATIVA .....	9
3	OBJETIVOS .....	10
3.1	GERAL.....	10
3.2	ESPECÍFICOS .....	10
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
4.1	O SURGIMENTO E EVOLUÇÃO DO CONCRETO .....	11
4.2	COMPONENTES DO CONCRETO .....	14
4.2.1	Cimento <i>Portland</i> .....	14
4.2.2	Água .....	17
4.2.3	Agregados.....	18
4.2.3.1	Areias.....	19
4.2.3.2	Britas.....	20
4.3	ADITIVOS .....	20
4.3.1	Aceleradores .....	21
4.3.2	Retardadores .....	21
4.3.3	Plastificantes.....	22
4.3.4	Superplastificantes.....	22
4.4	ADIÇÕES.....	22
4.4.1	Silica-ativa.....	24
4.4.2	Metacaulim .....	24
4.5	DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DO CONCRETO .....	24
4.5.1	Agentes de deterioração.....	26
4.5.2	Mecanismos importantes de transporte e atuação .....	27
4.6	ADIÇÃO CRISTALIZANTE.....	30
5	METODOLOGIA DA PESQUISA .....	32
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	34
7	CONCLUSÃO .....	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45

## 1 INTRODUÇÃO

Em razão de sua extrema importância no contexto mundial, em especial neste momento em que o setor da construção civil começa a demonstrar sinais de melhoria expressiva no Brasil, tratar do assunto da longevidade e aumento da vida útil das estruturas de concreto armado se faz necessário. O desempenho de qualquer produto é degradado com o tempo e com o concreto armado esta premissa não se difere dos demais. São vários os aspectos que influenciam diretamente em seu tempo de vida útil, os quais estão diretamente ligados ao meio em que estão inseridos, características de projeto, dimensionamento, materiais presentes na mistura do concreto, sua composição e suas características. Ao mesmo tempo que a humanidade se utiliza deste material ao longo dos anos e molda suas características de acordo com a necessidade, novas tecnologias reforçam e potencializam suas características de maneira a adequá-lo às necessidades existentes. Neste âmbito surgem novos desafios e novas descobertas que vem para contribuir e resolver dificuldades quando da formulação das misturas e resolução dos problemas encontrados no decorrer do processo evolutivo do concreto armado.

O concreto é um material essencialmente poroso e estes poros são provenientes de diversas causas como a retração química da água de hidratação do cimento, a evaporação do excesso de água de amassamento, o atrito entre os grãos de agregado e deles com as fôrmas de concretagem e a incorporação de ar natural durante o processo de fabricação (FUSCO, 2008). Esta característica também é responsável pela redução da vida útil das estruturas, pois a água é um dos principais meios de condução de agentes agressivos ao concreto, sua composição e também às armaduras que compõe sua estrutura. Através da utilização de tecnologias disponíveis no mercado, esta característica também pode ser alterada refletindo diretamente na longevidade das estruturas através da adição de cristalizante à mistura do concreto. Este aditivo incorporado ao concreto no momento de sua produção, reage com a água, o hidróxido de cálcio e alumínio, além dos demais óxidos metálicos e sais presentes no concreto formando cristais no interior dos poros e capilares os quais impedem a penetração de água e interagem com as fissuras que possam aparecer ao longo da vida útil da estrutura (OUVIRE; BILESKY, 2008).

Este trabalho visa realizar ensaios comparativos em amostras de concreto com adição e sem adição de cristalizante, verificando aspectos relativos à sua porosidade e com isso avaliar-se-á também o seu impacto na vida útil das estruturas de concreto armado, tendo em

vista que a durabilidade do concreto está diretamente ligada a facilidade com que os fluídos se movimentam através dele (NEVILLE, 2013), desta forma, quanto menor a permeabilidade e a absorção maior a longevidade das estruturas.

## 2 JUSTIFICATIVA

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade de uma estrutura é a capacidade que ela possui de resistência às influências ambientais as quais são previstas e definidas antes da elaboração do projeto de maneira conjunta pelo projetista estrutural e por quem contrata o serviço. Este conceito também é tratado pela norma de desempenho das edificações habitacionais, NBR 15575 (ABNT, 2013), que traz a definição de Vida Útil (VU) para uma edificação, como sendo a junção da Vida Útil de Projeto (VUP), que é o período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado, somado ao correto processo de manutenção executado de acordo com o manual de uso, operação e manutenção da obra. A Norma de Desempenho especifica ainda o devido tempo de Vida Útil de Projeto mínimo estimado com base em estudos realizados para a parte estrutural da obra como sendo maior ou igual a 50 (cinquenta) anos.

Ao definir a VUP não se garante o alcance da estimativa, pelo fato de ser um valor referencial de 50 anos, o qual depende de vários fatores os quais durante a etapa de projeto não podem ser previstos com exatidão como erros na execução, no uso e na operação ou até mesmo mudanças climáticas e de meio ambiente durante este período de tempo. O que há neste caso é uma previsão com base no que se tem como condições normais em um ambiente idealmente projetado para 50 anos.

O presente trabalho justifica-se em razão do objeto de estudo agir diretamente nas propriedades do concreto armado, reduzindo significativamente a ação de agentes patológicos sobre as peças ao passo que se demonstre eficiência nos testes realizados, o que refletirá diretamente no tempo de VU do sistema e em seu desempenho ambiental, fazendo com que a estrutura seja durável a ponto de justificar os recursos nela aplicados, servindo como auxiliar no processo de alcance do tempo de VUP especificado na Norma de Desempenho.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 GERAL**

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar as amostras de concreto com e sem adição de cristalizantes, verificando através dos testes a alteração de resistência à compressão, alteração da porosidade e conseqüentemente da absorção de água.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- a) Apresentar e levantar bibliograficamente a adição cristalizante;
- b) Identificar possíveis variações na resistência à compressão do concreto após a adição de cristalizante;
- c) Avaliar a absorção do concreto com e sem o uso de adição cristalizante;



## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 O SURGIMENTO E EVOLUÇÃO DO CONCRETO

O concreto é o material de construção mais utilizado pelo homem e atualmente o segundo produto mais consumido do planeta. Ele está presente em quase todos os canteiros de obra do mundo e é utilizado na maioria das construções imaginadas e construídas pelas mãos humanas (ISAIA, 2011). De acordo com estudo realizado pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, estima-se que a produção de concreto no ano de 2012 somente nas concreteiras do Brasil tenha ultrapassado a casa de 51 milhões de metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Segundo Isaia (2011), o desenvolvimento e evolução do concreto como material estrutural acompanhou o processo evolutivo do homem, de maneira que foram necessários mais de 2000 anos para que se chegasse ao material conhecido atualmente. Sua grande utilização se deve basicamente a como ele é constituído, sendo que por se tratar de um material cerâmico, sua matéria-prima existe em quase todos os lugares do mundo.

Ao longo da história e de acordo com as descobertas realizadas e aprimoradas pelo homem, foram surgindo novas técnicas e novos materiais mais complexos que nomearam estágios da evolução humana como a Idade da Pedra, do Bronze e do Ferro e que mesmo sem a importância equivalente, a manipulação de materiais cerâmicos foi primordial ao facilitar a vida do homo sapiens. A manipulação da argila é o primeiro sinal de manipulação intencional de material que se tem registro. Em certo ponto, o homem percebe que consegue produzir equipamentos para facilitar o seu cotidiano moldando a partir de terra argilosa, uma pedra artificial dura que era utilizada na confecção de objetos e utensílios domésticos. Este processo, foi importantíssimo ao longo da evolução do ser humano, uma vez que serviu para demonstrar que a natureza dos materiais obtidos naturalmente poderia ser alterada por suas mãos (ISAIA, 2011).

Ainda de acordo com Isaia (2011), a civilização grega utilizava materiais aglomerantes apesar de não o fazer de maneira ampla desde o começo do século V a.C. como material de revestimento das fontes atenienses. Para suas construções, em locais onde não haviam jazidas de mármore, material utilizado em grande escala por eles, utilizavam materiais como terra vulcânica com cal obtendo a cal hidráulica que era usada na construção de suas obras de infraestrutura e em suas edificações. Apesar da comprovação do uso do concreto, em obras de porte maior os gregos ainda trabalhavam com sistema de pedras aparelhadas formando

sistemas de vigas e colunas não se aproveitando do concreto como material estrutural.

Os povos romanos eram conquistadores que copiavam e adaptavam às suas necessidades conhecimentos obtidos de povos conquistados o que tornou possível conhecer as edificações gregas de maneira a aperfeiçoá-las (CARVALHO, 2008).

De acordo com (PEDROSO, 2009), em determinado momento, os romanos descobriram que misturando cinza vulcânica das proximidades do monte Vesúvio com cal hidratada se obtinha uma cal que endurecia sob a água. Posteriormente, após promover experimentações obtiveram cal hidráulica feita através da calcinação de rochas calcárias misturadas com materiais argilosos. A técnica de construir se utilizando do concreto, foi a base para os modelos de construções e arquitetura romana, tornando possíveis obras como o Panteão (Figura 1), construído por volta de 100 anos d.C. que é composto por uma cúpula de 43 metros de diâmetro apoiada em cilindro de concreto pozolânico, sob fundação em forma de anel de concreto com 4,5 metros de profundidade e 7 metros de largura, além de outras obras como coliseu romano, pontes e aquedutos construídos durante este período e que podem ser apreciados ainda hoje quase 2000 anos depois.

**Figura 1** - Panteão Romano



Fonte: Planeta Europa (2021).

Isaia (2011), relata que com a queda do império romano em 476 d.C. até o século XVIII, não foram obtidos avanços significativos para as tecnologias empregadas nas construções sendo que somente em 1755 o inglês John Smeaton constrói o terceiro farol de Eddystone, no sudeste da Cornualha, sul da Inglaterra, utilizando argamassa de cal hidráulica

misturada com argila, areia e escória de alto-forno moída, que servia para interligação dos blocos de granito. Esta obra provavelmente foi a primeira já na idade moderna construída utilizando um tipo de cimento semelhante aos utilizados pelos romanos o qual teve sua patente registrada somente em 1796 pelo inventor inglês James Parker que começou a produzir cimento hidráulico natural através da calcinação de nódulos de calcário com argila o qual era chamado de cimento Parker ou Romano.

Segundo Pedroso (2009), a primeira pessoa a explicar as propriedades físicas do cimento e seu comportamento, descobrindo que as propriedades físicas da mistura eram adquiridas através das proporções diferentes dos materiais empregados o que resultaria até mesmo em argamassas mais resistentes do que as encontradas de maneira natural foi o construtor francês Louis Vicat.

De acordo com Isaia (2011), em 1824, Joseph Aspdin, um construtor inglês, realiza um experimento onde através da queima de pedras calcárias e argila moídos era obtido o clínquer, que passava novamente por um processo de moagem resultando em um pó muito fino que, em referência a pedra calcária da ilha de Portland no canal da Mancha conhecida por sua boa qualidade, recebeu o nome de cimento Portland. Aspdin foi considerado o inventor formal do cimento Portland e registrou sua patente junto ao Governo Britânico no mesmo ano.

Ainda de acordo com o autor, em 1840 foram instaladas novas fábricas pela Inglaterra e concedidas novas patentes sendo que em 1860, a fabricação do cimento se expandiu para a Alemanha e outros países da Europa e em 1871 David Saylor recebeu patente para fabricação do cimento Portland nos Estados Unidos, o qual possuía qualidade superior ao fabricado na Inglaterra. Em 1880, foi utilizada uma mistura de gesso com o clínquer com a finalidade de retardar a pega e que juntamente com o forno rotativo que começava a ser estudado e posteriormente patenteado 5 anos depois foram considerados grandes avanços, os quais chegaram ao Brasil em 1888 com a instalação de uma usina de cimento em Sorocaba – SP pelo comendador Antônio Proost Rodovalho.

Os melhoramentos e avanços tecnológicos não pararam e estão em constante evolução transformando o cimento Portland em um material versátil, durável e indispensável para a construção civil, fazendo dele o produto industrial mais consumido pelo ser humano atualmente em razão de suas várias aplicações especialmente em estruturas de concreto, as quais estão presentes em todas as partes do mundo e estão intimamente ligadas à humanidade proporcionando ao homem moderno abrigos confortáveis e seguros (ISAIA, 2011).

## 4.2 COMPONENTES DO CONCRETO

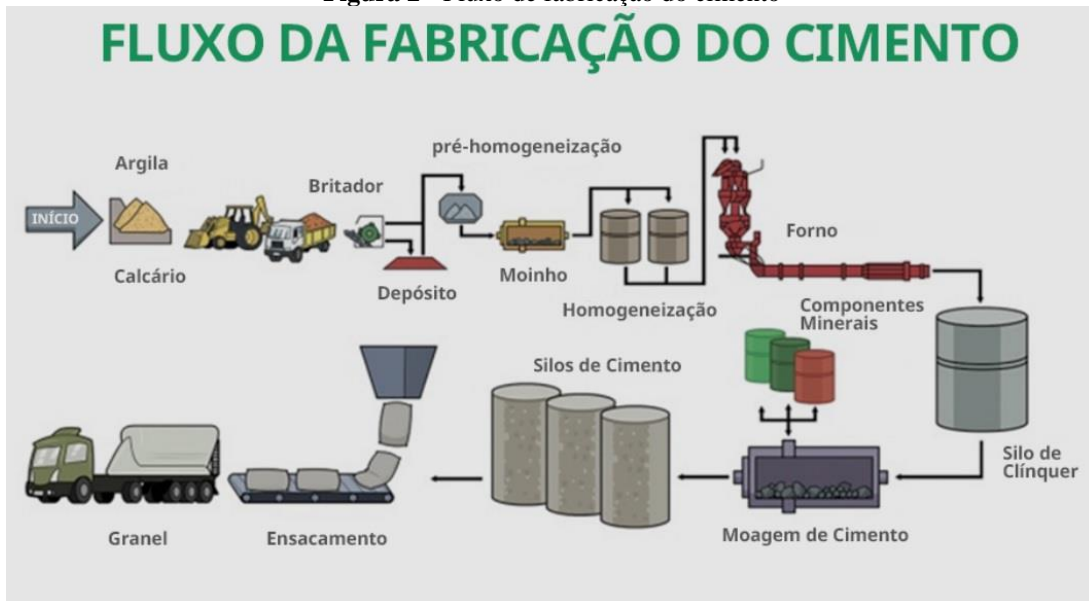
“O concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento” (BATTAGIN *apud* PEDROSO, 2009, p.15).

### 4.2.1 Cimento *Portland*

O Cimento Portland é o nome que se dá ao material produzido através da mistura de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro, queimado à temperatura de clínquerização resultando no clínquer moído. Normas internacionais são baseadas no princípio de que nenhum outro material além de agentes de moagem, sulfato de cálcio e água podem ser adicionados a ele após sua queima (NEVILLE, 2016).

Ainda, segundo o autor, a sua produção é feita através da moagem de matérias-primas cruas até que se obtenha um pó fino. Estas matérias primas são misturadas e queimadas em grandes fornos rotativos a uma temperatura de aproximadamente 1400 °C de maneira que a fusão parcial dos materiais produza o clínquer que posteriormente após o resfriamento recebe uma pequena quantidade de gipsita (sulfato de cálcio) o qual agirá como retardador da reação do cimento, além de outros componentes minerais e passando novamente pelo processo de moagem até obter a granulometria desejada de maneira que torne-se um material pulverulento o qual é comercializado e utilizado no mundo todo. O fluxo de sua fabricação é apresentado de maneira simplificada na figura 2.

Figura 2 - Fluxo de fabricação do cimento



Fonte: Cimento Mauá (2021).

Para um melhor proveito do potencial e desempenho dos diversos tipos de cimento para a aplicação de interesse, é importantíssimo fazer sua utilização de maneira correta e escolher o tipo adequado de cimento de acordo com a necessidade ou característica desejada. A melhor maneira de se conhecer as características e propriedades dos vários tipos de cimento Portland é através de sua composição no que diz respeito a proporção de clínquer, sulfatos de cálcio, além de outros produtos adicionados durante o processo de moagem como a escória de alto forno, a pozolana e o filler calcário e esta composição do cimento é adotada mundialmente para classifica-lo quanto aos seus diversos tipos (BATTAGIN; RODRIGUES, 2014).

A Tabela 1 a seguir está inserida na NBR 16697 (ABNT, 2018) e traz os tipos de cimento juntamente com os percentuais de suas composições características.

**Tabela 1** - Limites de composição do cimento Portland

Designação normalizada		Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum		CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 – 100	0 – 5		
		CP I-S			90 – 94	0	0	6 – 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno		CP II-E			51 – 94	6 – 34	0	0 – 15
Cimento Portland composto com material pozolânico		CP II-Z			71 – 94	0	6 – 14	0 – 15
Cimento Portland composto com material carbonático		CP II-F			75 – 89	0	0	11 – 25
Cimento Portland de alto forno <sup>b</sup>		CP III			25 – 65	35 – 75	0	0 – 10
Cimento Portland pozolânico <sup>c</sup>		CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V <sup>a</sup>			ARI		90 – 100	0
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40		75 – 100	—	—	0 – 25
	Não estrutural		—	—	50 – 74	—	—	26 – 50

<sup>a</sup> No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.  
<sup>b</sup> O teor máximo da somatória de adições ( escória granulada de alto –forno e material carbonático) deve ser de 75%.  
<sup>c</sup> O teor máximo da somatória de adições ( material pozolânico e material carbonático) deve ser de 55%.

Fonte: NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos (ABNT, 2018).

De acordo com Pugliesi, Battagin e Da Cruz (2016) de uma maneira geral os cimentos comercializados no Brasil podem ser:

a) CP-I e CP-IS: Conhecido como Cimento Portland Comum, não possui adições, somente o gesso que atua como retardador de pega fornecendo mais tempo para aplicação. Ele possui menor resistência e custo elevado com produção sob encomenda e direcionada à indústria;

b) CP-II: Em razão das adições e de outros materiais misturados a ele, este cimento é conhecido como Cimento Portland Composto. Estas misturas proporcionam a ele menor liberação de calor em contato com a água. Esta classe de cimento está dividida em CP-II E, que em razão de sua composição possui a característica de liberação de calor de forma mais lenta, CP-II Z que possui adição de pozolana o que lhe confere impermeabilidade maior

fazendo com que seja recomendado para uso em contato direto com a água ou em obras com alta umidade e CP-II F utilizado para aplicações gerais;

c) CP-III: Chamado de Cimento Portland de Alto-forno, este cimento possui características diferenciadas como maior impermeabilidade e durabilidade com baixo calor de hidratação, resistência a sulfatos e alta resistência a expansão causada pela reação álcali-agregado. Sendo menos poroso e mais durável este cimento é indicado desde obras mais simples até ambientes de alta agressividade como barragens, esgotos e pontes;

d) CP-IV: O Cimento Portland Pozolânico, tem em sua composição entre 15% e 50% de pozolana. Recomendado para concretagem sob temperaturas altas ou em grandes volumes por possuir baixo calor de hidratação. O material pozolânico lhe confere maior estabilidade quando usado com agregados reativos e em ambientes onde se possui ataques ácidos especialmente por sulfatos. Por possuir pouca porosidade além das demais características, este cimento é resistente à ação de esgotos e da água do mar;

e) CP-V ARI: Recomendado apenas para a fabricação de concretos, este cimento atinge resistências maiores que os convencionais após os 28 dias de cura. Em razão da forma como é fabricado, atinge grande resistência em curto intervalo de tempo o que o torna aplicável em locais onde esta característica seja importante como em obras industriais;

f) CPB: O Cimento Portland Branco recebe este nome em razão de sua coloração obtida dos componentes de sua fabricação que possuem baixo teor de manganês e ferro, além do uso do caulim que substitui a argila. Este cimento possui a versão estrutural indicado para fins arquitetônicos e o não estrutural aplicável em rejunte de cerâmicas.

Há ainda, segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018) os sufixos que podem ser empregados a nomenclatura original de qualquer tipo de cimento Portland, desde que este atenda aos requisitos indicados na norma além dos requisitos originais da classe a que pertence. Por exemplo: CP V-ARI RS (Seria um cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos). Os sufixos empregados do tipo RS e BC significam respectivamente Resistente a Sulfatos e baixo calor de hidratação.

#### **4.2.2 Água**

A água de mistura do concreto é um dos componentes mais importantes sendo que sua quantidade na mistura (fator água/cimento) determina a resistência final do concreto. A estrutura de concreto pode desenvolver patologias graves pela utilização de águas não

potáveis ou com grande concentração de cloretos, o que pode ocasionar processo de corrosão da armadura (SOUZA; RIPPER, 1998).

Conforme os autores ainda a água para utilização na mistura deve ser potável de forma a não ter cheiro, nem sabor e nem mesmo matérias suspensas. Impurezas químicas como cloretos e sulfatos além de resíduos químicos industriais também não devem estar presentes. Conforme parte da mistura, a influência da água altera as propriedades do concreto através das substâncias dissolvidas ou suspensas nela o que pode acarretar problemas posteriores na pasta de concreto como impedimento da pega e até mesmo perda de coesão.

Neville (2013), destaca que mesmo sendo potável a água pode não ser adequada para mistura pois pode conter concentração alta de sódio e potássio o que acarreta em alto risco de ocorrência de reação álcali-agregado.

Qualquer água com grau de acidez (pH) entre 6,0 e 8,0, sem gosto de sal é adequada ao uso sendo que se possuir cheiro diferenciado e cor mais escura não necessariamente quer dizer que nela há substâncias nocivas ao traço (NEVILLE, 2013).

### **4.2.3 Agregados**

De acordo com Sbrighi Neto (2011), a definição mais aceita para agregados é de um material granular com propriedades e dimensões adequadas à construção civil mais especificamente para produção de argamassas e concretos de cimento Portland e que não possuem forma ou volume definidos.

Já para Bauer (1992), os agregados são materiais de atividade química praticamente nula, particulado, incoesivo e composto por uma mistura de partículas com tamanhos diferenciados. Nos ramos da construção os agregados são conhecidos pelo nome específico de cada um como pedra britada, bica-corrída, rachão e etc.

Os agregados ocupam  $\frac{3}{4}$  do volume total do concreto e desta forma é importante que sejam materiais de qualidade, uma vez que não só limitam a resistência do concreto, como afetam de maneira significativa a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto através de suas propriedades (NEVILLE, 2013).

Em razão da abundância com que eram encontrados, devido a sua boa qualidade e baixo custo, entre o fim do século XIX e início do século XX, acreditava-se que os agregados tinham papel secundário na produção do concreto apesar de serem responsáveis por 70% a 80% do volume da mistura. Este era um material tido apenas como vantajoso



economicamente em razão de sua finalidade, mas, com o passar dos anos e com o aumento do consumo do concreto em escala mundial, este pensamento e sua devida importância foram reavaliados (SBRIGHI NETO, 2011).

Ainda segundo o autor, eles podem ser classificados de acordo com sua origem como os naturais encontrados na natureza e já prontos para uso como areia de rio e pedregulhos, os britados que passam por processo de fragmentação (geralmente britagem) como pedras britadas e pedriscos, os artificiais provenientes de processos industriais como argila expandida e vermiculita expandida e os reciclados derivados do entulho de construção e demolição ou resíduos industriais granulares que se adequem a este uso.

Neville (2013), cita que os agregados são formados através da fragmentação através dos processos de intemperismo, abrasão ou britagem de grandes blocos de rocha e desta forma as propriedades dos agregados gerados depende das propriedades destes blocos como a composição química e mineral, dureza e resistência.

Quanto à sua massa unitária podem ser do tipo leves que possuem massa específica de até  $500 \text{ kg/m}^3$  como por exemplo a argila expandida, médios com massa específica entre  $1500 \text{ kg/m}^3$  e  $1700 \text{ kg/m}^3$  que é o caso dos agregados naturais como areia e pedregulho usados na produção dos concretos chamados de normais e do tipo pesados ou densos como a limonita (crostas hidratadas de minerais ferruginosos) usado na produção de concretos pesados (SBRIGHI NETO, 2011).

A ABNT NBR 7211:2009 classifica os agregados quanto à dimensão dos grãos da seguinte forma:

a) Agregados graúdos, são os que seus grãos passam pela peneira com abertura de malha de 152mm e são retidos na peneira com abertura de 4,75mm em ensaio de acordo com a ABNT NBR NM 248, com as peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISSO 3310-1;

b) Agregados miúdos, são os que seus grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira de abertura 0,075mm de acordo com a ABNT NBR NM 248, com as peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISSO 3310-1.

#### 4.2.3.1 Areias

De acordo com Bauer (1992), as areias tidas como agregado do tipo miúdo para seu uso na construção, necessitam ter o grão formado por material consistente, não necessariamente quartzosos. Elas têm sua origem de rios onde são encontradas em depósitos

sedimentares, de cavas em fundos de vales cobertos por capa de solo, de britagem a qual também é chamada de areia de brita, obtida durante o processo de fabricação das britas, de escória produzida durante o processo de resfriamento da escória de alto-forno através de jato de água e de praias e dunas as quais não são muito utilizadas no Brasil em razão de sua finura e do teor de cloreto de sódio encontrado na água do mar.

Sbrighi Neto (2011), discorre que o uso de areias de dunas as quais tem origem eólica e produzem grãos arredondados com superfície polida, faz com que essa areia funcione como agente de plasticidade no concreto recém misturado, o que gera redução no consumo de água para obtenção de determinada trabalhabilidade desejada, reduzindo o custo de produção do concreto sem a perda da qualidade da mistura.

#### 4.2.3.2 Britas

Classificadas como agregados graúdos, as britas são obtidas através do processo de cominuição (fragmentação) da rocha e podem ser aplicadas na construção civil no concreto de cimento Portland, na pavimentação, enrocamento, aterros e etc. (SBRIGHI NETO, 2011).

As britas podem ser classificadas de acordo com o tamanho como brita 0 ou pedrisco, que são utilizadas em massas asfálticas, concretos de uso geral, estruturas de ferragem densa, artefatos de concreto pré-moldados e possuem dimensão entre 4,8mm e 9,5mm, brita 1 que possui aplicação semelhante a brita 0 porém suas dimensões diferem sendo entre 9,5mm a 19mm, a brita 2 aplicada em drenagens e concretos em geral com dimensões entre 19mm e 25mm, brita 3 utilizada lastros de ferrovias e reforços de subleito para pistas com tráfego intenso que possui dimensões que vão de 25mm a até 38mm, brita 4 ou macadame que são aplicadas dentre outros locais em sumidouros, gabiões, fossas sépticas, reforços de subleitos e concretos ciclópicos e que possuem dimensões entre 25mm e 76mm e rachão também utilizado em concretos ciclópicos, calçamentos, drenagens dentre outros e que possui dimensões que vão de 76mm a 170mm (MAPA DA OBRA, 2019).

### 4.3 ADITIVOS

Aditivo pode ser definido como um produto não dispensável a composição e finalidade do concreto que após misturado na quantidade correta de maneira homogênea reforça ou traz a tona certas características do concreto (BAUER, 1992)

Segundo Hartmann et al. (2011), os aditivos são produtos químicos que modificam as propriedades das misturas cimentícias quando adicionados aos cimentos ou argamassas conferindo inúmeras vantagens às propriedades do concreto fresco ou endurecido, permitindo que sejam produzidas misturas cimentícias para uma infinidade de aplicações e esta é uma das principais razões para sua ampla utilização nos dias de hoje.

A NBR 11768 (ABNT, 2015), cita mais de dezesseis designações diferentes quanto aos aditivos, porém como sua aplicabilidade não estará contida ao longo deste trabalho, serão citados a seguir apenas os que tem mais relevância ao longo do desenvolvimento deste projeto.

#### **4.3.1 Aceleradores**

Para Bauer (1992), aceleradores são materiais que adicionados ao concreto diminuem o tempo de início de pega de maneira que desenvolva as resistências iniciais de forma mais rápida.

Estes são aditivos responsáveis pela aceleração no endurecimento ou resistência inicial do concreto. Eles são utilizados para lançamento de concreto sob baixas temperaturas ou em caso de reparos urgentes. Há ainda os aceleradores de pega utilizados na aplicação do concreto projetado e que promovem sua pega imediata (NEVILLE, 2013).

#### **4.3.2 Retardadores**

De acordo com Neville (2016), um tempo de pega mais longo se torna possível com o uso deste aditivo, o qual atrasa o endurecimento da pasta de maneira a impedir o desenvolvimento da resistência. Este tipo de aditivo é útil para aplicação durante processo de concretagem em locais com temperatura elevada, em razão desta temperatura influenciar diretamente no tempo de pega. Pode ser empregado ainda quando necessário um tempo maior de espera entre a produção, transporte e o lançamento do concreto. Eles também exercem influência no projeto estrutural, quando utilizados em lançamentos contínuos possibilitando retardo controlado das várias etapas de lançamento.

### 4.3.3 Plastificantes

Conhecidos como aditivos redutores de água, a NBR 11768-1 (ABNT, 2019), trata dos plastificantes como redutores de água tipo 1 (RA1) e define o plastificante como um aditivo que permite a redução da quantidade de água utilizada sem modificação na consistência do concreto; ou como aquele aditivo que aumenta o abatimento e fluidez do concreto, sem alteração na quantidade de água modificando sua consistência; ou ainda o aditivo que produz os dois efeitos de forma simultânea. Segundo Neville (2013), estes aditivos são usados para obtenção do aumento da resistência do concreto através da redução do fator água/cimento, redução do calor de hidratação em concreto massa, obtenção de trabalhabilidade através da redução do teor de cimento e aumento da trabalhabilidade facilitando o lançamento em locais de difícil acesso.

### 4.3.4 Superplastificantes

Tratado pela NBR 11768-1 (ABNT, 2019) como redutor de água tipo 2 (RA2), a norma o define de maneira parecida com o plastificante, mas menciona que este aditivo permite redução maior na quantidade de água no concreto quando comparado ao plastificante.

Para Neville (2016), este aditivo torna possível a produção de concretos bem diferentes no estado fresco e endurecido devido ao valor relativamente menor do que a obtida pelos plastificantes quanto a relação água/cimento. Ele torna possível a composição de misturas que podem ser lançadas diretamente com pouco ou nenhum adensamento (concreto fluído), possibilitando lançamentos em seções de difícil acesso como em peças com armaduras densas, em pisos ou em situações que seja necessário lançamento rápido. Podem ainda ser usados na produção de concretos com resistência extremamente alta em razão da redução da relação água/cimento (em alguns casos entre 25 e 35%) garantindo a trabalhabilidade normal da mistura.

## 4.4 ADIÇÕES

O termo adição faz referência de maneira mais ampla a qualquer material além de água, agregados e cimento, que é utilizado como ingrediente do concreto e é adicionado antes ou durante sua mistura (MALHOTRA;MEHTA, 1996).

Conforme Dal Molin (2011), as adições minerais utilizadas atualmente no concreto, são advindas de outras indústrias onde seriam descartadas em locais inapropriados causando inclusive contaminação de solo e fontes de água. Elas são geradas em grandes quantidades como a cinza da casca de arroz e os resíduos da indústria siderúrgica, fazendo com que o uso das adições no concreto reduza este impacto ambiental causado pelo descarte destes materiais na natureza além de diminuir o volume de matérias-primas extraídas pela indústria da construção civil. Ao incorporar adições minerais reduz-se também a poluição gerada como durante a emissão do CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) que no Brasil por exemplo por tonelada é de 600kg.

Além de todos estes fatores positivos ao incorporar adições minerais obtém-se cimentos com melhores características técnicas, sendo que as adições modificam a estrutura interna da pasta de cimento hidratada e desta forma promovem uma série de melhorias como a redução da porosidade, redução do calor de hidratação, aumento a resistência ao ataque de sulfatos e diminuição das expansões decorrentes das reações álcali-agregado (DAL MOLIN, 2011).

Ainda segundo a autora, as adições podem ser classificadas em:

a) Material Cimentante: para este material, não é necessário a presença de hidróxido de cálcio no cimento Portland para formação dos produtos cimentantes. Mas, devido a demora no processo de hidratação e formação insuficiente de produtos cimentantes, o que impossibilita a aplicação estrutural. Ao ser utilizado como adição no cimento Portland, o hidróxido de cálcio e gipsita presentes acelera o processo de hidratação;

b) Fíler: que é uma adição mineral composta por um pó muito fino que não tem atividade química, fazendo com que sua ação seja unicamente de empacotamento granulométrico agindo como redutor do efeito de capilaridade e permeabilidade do concreto aumentando a trabalhabilidade;

c) Material Pozolânico: A NBR 12653 (ABNT, 2014), define material pozolânico como silicosos ou silicoaluminosos, que sozinhos tem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas que, quando dividido finamente e sob água, reagem com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente formando compostos ligantes. A norma classifica ainda quanto a origem das pozolanas como naturais ou artificiais. As pozolanas naturais, são materiais de origem vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido (maior que 65% de Dióxido de Silício (SiO<sub>2</sub>)) ou de origem sedimentar, com atividade pozolânica. Já as pozolanas artificiais, são materiais que tem sua origem no tratamento térmico ou subprodutos industriais com

atividade pozolânica. Dentre a grande quantidade de materiais pozolânicos podem ser citados a cinza volante, cinza de casca de arroz, escória granulada de alto-forno, sílica-ativa, metacaulim e outros.

#### **4.4.1 Silica-ativa**

Este é um produto resultante do processo de obtenção metalúrgico decorrente da obtenção de ferro-silício e silício-metálico que são produzidos em grandes fornos elétricos de fusão que operam em temperaturas acima de 2000°C, sendo que a proveniente da manufatura do silício-metálico é mais fina. A reação do concreto envolvendo a sílica-ativa é rápida sendo que em curtos períodos a mistura pode obter as resistências e baixas permeabilidades esperadas. Este efeito chamado microfíler ocorre em razão das partículas reduzirem o espaço disponível para água, de maneira a dificultar a orientação preferencial dos cristais de hidróxido de cálcio na interface pasta/agregado em razão do pequeno tamanho das partículas da sílica-ativa, que ocupam os espaços entre os grãos de cimento (DAL MOLIN, 2011).

#### **4.4.2 Metacaulim**

De acordo com a NBR 15894-1 (ABNT, 2010), o metacaulim é uma pozolana de alta reatividade. Sua interação física e química com o cimento Portland confere propriedades especiais relacionadas à durabilidade e ao desempenho mecânico quando endurecido. Há uma melhora nos aspectos reológicos através da otimização da distribuição granulométrica da pasta o que contribui para a retenção de água, aumento da coesão, redução da exsudação e segregação. Pode ser obtido através da calcinação de alguns tipos de argila entre 600°C e 900°C e também do tratamento do resíduo industrial das produtoras de cobertura de papel (DAL MOLIN 2011).

### **4.5 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DO CONCRETO**

A evolução das tecnologias de construção tem como um de seus principais fatores a busca por materiais duráveis e esta é uma das principais razões para o sucesso do concreto, em razão deste ser um material forte e quimicamente inerte, que pode durar por séculos (DYER, 2015).

Conforme a norma de desempenho, NBR 15575-1 - Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2013), a VU (Vida Útil) de uma edificação como sendo a junção da VUP (Vida Útil de Projeto) e o correto processo de manutenção executado de acordo com o manual de uso, operação e manutenção da obra.

Segundo a mesma norma, a VUP (Vida Útil de Projeto), é o período de tempo para o qual um sistema é projetado, de maneira que atenda aos requisitos de desempenho sendo que durante este tempo sejam atendidos os requisitos das normas aplicáveis a obra. Ela é uma estimativa de tempo teórica feita no momento do projeto levando em consideração o local onde esta estrutura está inserida e os agentes que influenciarão diretamente o tempo de vida desta estrutura.

Da mesma forma a NBR 6118 (ABNT, 2014), descreve a durabilidade de uma estrutura como a capacidade que ela possui de resistência às influências ambientais as quais são previstas e definidas antes da elaboração do projeto de maneira conjunta pelo projetista estrutural e por quem contrata o serviço. Este projeto deve ser construído levando-se em conta as condições ambientais possíveis e sua correta utilização de forma que conserve a segurança, estabilidade e aptidão em serviço da estrutura durante o período de sua vida útil.

Vida útil e durabilidade estão associadas uma vez que, conhecidas as características de deterioração do concreto e dos sistemas estruturais, a durabilidade é o parâmetro de relação entre a aplicação destas características em determinada construção e a avaliação da resposta que esta dará aos efeitos do ambiente agressivo no qual está inserida o que definirá a vida útil da mesma (SOUZA; RIPPER, 1998).

Conforme a NBR 6118 (ABNT,2014), a agressividade do ambiente onde a estrutura está inserida, está diretamente relacionada aos fenômenos físicos e químicos que atuam sobre ela como pode ser observado na tabela 2 a seguir, que pode ser encontrada na norma, onde estão contidas as classes ambientais e através da qual é possível perceber que o risco de deterioração da estrutura de concreto é diretamente proporcional à classe de agressividade do ambiente no qual a estrutura está inserida.

Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

<sup>a</sup> 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 conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade 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.

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

Fonte: Adaptada NBR 6118 (ABNT, 2014).

Segundo Helene (1993), para ser efetivo o concreto deve manter sua estabilidade química ao mesmo tempo servir como barreira contra a penetração de agentes potencialmente agressivos a sua estrutura e a armadura.

#### 4.5.1 Agentes de deterioração

Medeiros (2010) caracteriza as agressões às estruturas de concreto como:

a) Físicas: que ocorrem por variação de temperatura, umidade, ciclos de congelamento e degelo, ciclos de umedecimento e secagem;

b) Químicas: carbonatação (reação entre o gás carbônico e os compostos da pasta de cimento), maresia ou água do mar, chuva ácida, corrosão, ataque de ácidos, águas brandas, resíduos industriais;



c) **Biológicas:** causadas por micro-organismos, algas, solos e águas contaminadas.

O autor descreve ainda que dentre as principais patologias provenientes dos agentes químicos e ambientais estão a corrosão de armaduras, a carbonatação, os ataques de sulfatos, de soluções ácidas, além da ação de cloretos e que os principais sintomas em geral são fissuras, eflorescências, desagregação, lixiviação, manchas, expansão por sulfatos e reação álcalis-agregado.

Os fenômenos de degradação de maior frequência no concreto são causados pela água como principal meio de transporte de substâncias agressivas tanto em sua forma pura, como com dissolução de íons (sulfatos e cloretos), ou como vapor (ISAIA, 2011).

Da mesma forma Mehta e Monteiro (2008), colocam a água como principal meio de transporte de substâncias agressivas ao concreto, primeiramente por ser o fluido mais abundante da natureza em todas as suas formas, depois pelo tamanho reduzido de suas moléculas as quais conseguem penetrar em poros ou cavidades extremamente pequenas, além de possuir capacidade de dissolução de uma quantidade muito maior de substâncias do que qualquer outro líquido existente.

Para Souza e Ripper (1998), a combinação dos agentes ambientais como umidade, vento, chuva, temperatura, salinidade e agressividade química ou biológica o que caracterizam um ambiente agressivo, e seu transporte para o interior da massa de concreto acrescidos da resposta da massa de concreto com tais agentes são constituintes dos principais elementos que caracterizam sua durabilidade.

#### **4.5.2 Mecanismos importantes de transporte e atuação**

De acordo com Silva (2011), a durabilidade das estruturas de concreto mantém uma relação direta com a estrutura dos poros, com as microfissuras da pasta de cimento e com a maneira com que os agentes agressivos (fluidos) penetram e são transportados para o interior da pasta de cimento. Dentre os mecanismos mais importantes para o transporte de massa para o interior do concreto estão a permeabilidade, a difusão e a absorção capilar. Segundo o autor há ainda a migração, mas segundo Helene (1993), a absorção capilar é o mecanismo mais comum e depois dele vem a difusão e a permeabilidade sendo que a migração só surge depois de iniciado o processo de corrosão.

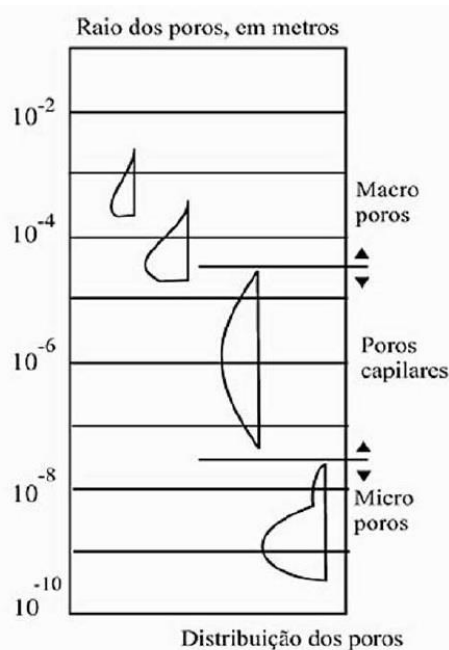
De uma maneira geral, todas as influências negativas sobre a durabilidade do concreto estão ligadas à facilidade com que os fluidos penetram e se movimentam em seu interior

(permeabilidade), sendo que o fluxo destes líquidos se dá devido a um diferencial de pressão e o transporte destes fluídos dependerá da estrutura da pasta de cimento hidratada e do comportamento mecânico da estrutura e os problemas causados a partir dele como as fissuras que acabam agindo como facilitadores para a passagem dos agentes deletérios para o interior da estrutura (NEVILLE, 2016).

O autor supracitado menciona ainda que é necessário distinguir permeabilidade de porosidade sendo que a porosidade seria a medida da proporção do volume total ocupado pelos poros e a permeabilidade está diretamente relacionada a intercomunicação destes poros. Desta forma mesmo um material com porosidade alta, não necessariamente seria um material altamente permeável, isto dependeria da ligação entre estes poros, o que para transporte de massa tanto externa quanto interna o torna permeável desde que entre eles haja intercomunicação.

Conforme Souza e Ripper (1998), a dimensão dos poros (Figura 3) e sua distribuição tem influência direta no fluxo e transporte dos agentes de degradação do concreto e a interação entre estes agentes e os poros varia em função do meio de transporte.

**Figura 3** - Distribuição dimensional dos poros do concreto



Fonte: C.E.B – Boletim nº 183, 1989 (apud SOUZA E RIPPER, 1998).

Pelo ar ocorre a difusão na qual gases, água e agentes agressivos como carbonetos, cloretos e sulfatos agem a depender da umidade relativa do ar sendo que quanto mais seco for o ar, maior será a permeabilidade do concreto aos gases. Pela água das chuvas ou das marés o

ataque ocorre por capilaridade de maneira que poros de menor diâmetro podem ficar completamente saturados em razão do contato da superfície do concreto com a água. Já quando imersos o transporte acontece por penetração direta em razão da estrutura encontrar-se sob pressão (SOUZA E RIPPER,1998).

Os autores ainda explanam que de acordo com este princípio fica claro que a melhor maneira de reduzir o transporte dos agentes agressivos para o concreto é reduzindo a sua porosidade.

Para Neville (2016) a permeabilidade faz referência ao fluxo dos fluídos de acordo com uma diferença de pressão. Quando este processo de movimentação se dá em razão do diferencial de concentração têm-se a difusão.

A difusão é a transferência de massa devido ao movimento de moléculas ou íons na solução dos poros das regiões com concentrações mais altas para regiões com concentração mais baixa da substância difusora (KROPP et al., 1995, *apud* SILVA, 2011).

Este processo de transporte segundo Neville (2016), é responsável pelo transporte de gases que causam diversas reações deletérias na estrutura do concreto armado, dentre os quais estão principalmente o dióxido de carbono, responsável pela carbonatação da pasta de cimento hidratada e o oxigênio que possibilita o progresso da corrosão da armadura do concreto armado.

Já para Silva (2011), o mecanismo de transporte de massa mais comum no concreto e em argamassas de revestimento é a absorção capilar que acontece através do transporte de líquidos através dos poros capilares do concreto devido a uma tensão superficial. Segundo ele, este tipo de transporte acontece por influência da viscosidade, densidade e tensão superficial do líquido em razão da estrutura dos poros e a energia superficial característica do concreto sólido.

Da mesma forma Neville (2016) relata que a absorção está relacionada com a medida total do volume dos poros e não necessariamente à permeabilidade, sendo que ela é definida pela capacidade de absorção e retenção de água através das tensões capilares que seriam forças de atração geradas pelos poros da estrutura de concreto sobre os líquidos que se encontram em contato com sua superfície.

Quanto menos resistência a penetração e movimentação de fluídos tiver um concreto, maior probabilidade ele tem de se degradar, da mesma forma que a armadura, a qual conta com o concreto como primeira camada de proteção. No geral a degradação das estruturas de concreto dependem de sua porosidade e das condições ambientais da superfície. Como na

maioria das vezes não é possível mudar ou melhorar as condições ambientais o que resta é reduzir a porosidade ao menor nível possível (SOUZA E RIPPER,1998).

#### 4.6 ADIÇÃO CRISTALIZANTE

A adição cristalizante é um composto de base cimentícia com diversos químicos ativos que é adicionado no momento da dosagem do concreto na usina ou no local da obra (MC-BAUCHEMIE BRASIL, 2020).

O tratamento cristalizante é definido como um processo físico-químico que tem por objetivo o preenchimento das porosidades e capilaridades que são características da microestrutura do concreto, de maneira que resulte em um processo catalítico no qual sejam formados cristais não solúveis e não tóxicos em uma profundidade mínima de 5 cm na estrutura de concreto de maneira que suporte pressões hidrostáticas positivas e negativas de até 0,7 Mpa, garantindo que não haja penetração de água por capilaridade (TAKAGI; JÚNIOR; OLIVEIRA, 2004).

Os autores citam ainda que esta tecnologia é baseada em sais de silicatos e na química dos argilominerais como agente catalizador, o quais através do mecanismo de difusão fazem uso da água como veículo para atingir as capilaridades do concreto reagindo com os produtos químicos que se encontram inertes nos poros (hidróxido de cálcio, óxidos minerais, sais minerais, além de algumas partículas de cimento não hidratadas e parcialmente hidratadas). Estas reações complexas acontecem quando há interação entre os catalizadores presentes na adição cristalizante e a reação de hidratação do cimento uma vez que são compatíveis em razão de o próprio cimento Portland ter em sua composição 33% de argilominerais. A figura 4 a seguir feita através de microscopia eletrônica por varredura, demonstra o processo de formação dos cristais nos poros e capilares do concreto.

**Figura 4 - Formação dos cristais no interior do concreto**

Fonte: Takagi, Júnior e Oliveira (2004).

Ourives, Bilesky e Yokoyama (2009), explicam que no concreto, os compostos químicos reagem com a água, o hidróxido de cálcio, hidróxido de alumínio, óxidos metálicos e sais presentes no concreto criando uma formação cristalina que age preenchendo os poros e impedindo a penetração de água, permitindo, porém, a passagem do vapor d'água, evitando desta forma a pressão de vapor no interior do concreto.

Ainda segundo os autores, caso haja o surgimento de novas fissuras ao longo da vida útil da estrutura, os cristais formar-se-ão em razão de permanecerem dormentes na ausência de água no interior da peça e após haver nova penetração de água na estrutura, estes cristais despertam e reagem, voltando a crescer atuando como proteção para o concreto de forma permanente.

## 5 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia aplicada foi desenvolvida a partir da revisão bibliográfica, com coleta de dados e busca por conceitos associados ao tema do trabalho. Foram realizados levantamentos bibliográficos referentes às técnicas de aplicação dos cristalizantes no concreto através de pesquisa em artigos científicos e trabalhos acadêmicos, além de livros os quais possibilitaram o desenvolvimento teórico do trabalho.

O material utilizado na pesquisa, foi selecionado de acordo com a disponibilidade na região oeste de Santa Catarina, onde executou-se o teste em laboratório de empresa privada.

Para realização desta pesquisa utilizou-se o cimento Portland composto (CP II 32) que atende às especificações descritas na NBR 16697 (ABNT, 2018).

A produção do concreto foi realizada com um agregado miúdo e graúdo. O agregado miúdo era uma areia de origem quartzosa, apresentando massa específica de  $2,62 \text{ kg/dm}^3$  e areia Industrial de origem basáltica com massa específica de  $2,88 \text{ kg/dm}^3$  determinada segundo a NBR 16916 (ABNT, 2021). O agregado graúdo utilizado é de origem basáltica e possui massa específica de  $2,91 \text{ kg/dm}^3$  determinada segundo a NBR 16917 (ABNT, 2021).

O aditivo adotado para realização dessa pesquisa é caracterizado como aditivo plastificante, sendo este um produto padrão utilizado na produção dos concretos, além é claro da adição de cristalizante também utilizada no traço.

Definidos e caracterizados os materiais utilizados na pesquisa, detalhou-se o planejamento experimental que contemplou a definição dos traços, produção dos concretos e metodologia dos ensaios estabelecidos para análise das propriedades do concreto no estado endurecido. Avaliou-se, aos 28 e aos 56 dias de idade, a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade.

Os traços utilizados foram definidos de forma a atender os requisitos solicitados pelo fornecedor do cristalizante o que define um consumo mínimo de cimento de  $300 \text{ kg/m}^3$ . Com base nesta orientação, foram adotadas relações a/c (água/cimento), de 0,6, o que resultou em um consumo de água de 192 litros, sendo que desta forma o consumo de cimento passou a ser de  $320 \text{ kg/m}^3$ , ( $320 \text{ kg/m}^3 * 0,6 \text{ fator a/c} = 192 \text{ litros de água}$ ). Foi utilizada também a dosagem de aditivo plastificante no teor de 1% em relação à massa do cimento e teor de argamassa de 55%. Os outros 45% da mistura são classificados como britas e estes parâmetros para a mistura foram adotados em razão de serem usualmente especificados em dosagens de concretos comercializados na região oeste de Santa Catarina. Da mesma forma que o Slump o

qual foi fixado em  $120\pm 30$ mm conferido posteriormente à mistura em regularidade com a NBR 16889 (ABNT, 2020).

Para execução dos testes, foram dosados 3 traços de concreto sendo que o primeiro foi composto sem a utilização de cristalizante (somente o traço padrão). O segundo traço foi formulado com a utilização de 0,8 % de adição cristalizante em relação à massa do cimento e o terceiro utilizando 1% de adição cristalizante.

Após a dosagem e mistura dos traços, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos seguindo o procedimento descrito na NBR 5738 (ABNT, 2015) tanto para sua confecção quanto para a cura.

O objetivo geral é a verificação das características das peças confeccionadas com os diferentes traços formulados de maneira que se possa comparar e verificar a melhoria das características analisadas, avaliando sua absorção e permeabilidade, além de um possível ganho de resistência final do concreto.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Atendendo os requisitos apresentados na metodologia foi confeccionado inicialmente o seguinte traço de concreto:

**Tabela 3 - Traço padrão**

Materiais	Traço	
	Massa Seca (Kg)	Volume (L)
Ar incorporado	-	10,0
Cimento	318	102
Areia Natural	440	168
Areia Artificial	480	168
Brita 0	260	90
Brita 1	780	269
Aditivo Plastificante	3,18	2,71
Água	191	191
<b>Total</b>	<b>2472</b>	<b>1000</b>

Fonte: Autor (2021).

Como pode ser observado na tabela 3 o traço padrão é calculado tendo como base o volume de 1 m<sup>3</sup> (um metro cúbico) de concreto. Porém para aplicação, mistura e confecção dos corpos de prova além de facilitar a execução, poder ser dosado em betoneira comum de 120 Litros e evitar desperdício durante a execução dos ensaios, o traço foi recalculado para o volume de 30 litros, utilizando as mesmas proporções do traço padrão obtendo-se o quantitativo demonstrado na Tabela 4.



**Tabela 4** - Redimensionamento do traço padrão para 30 Litros

<b>Materiais</b>	<b>Massa Seca</b>
Ar incorporado	-
Cimento	9,55 Kg
Areia Natural	13,19 Kg
Areia Artificial	14,40 Kg
Brita 0	7,80 Kg
Brita 1	23,40 Kg
Aditivo Plastificante	95,5 g
Água	5,73 Kg

Fonte: Autor (2021).

A produção dos concretos, em laboratório, foi realizada em betoneira de eixo inclinado, com capacidade máxima de 120 litros. A ordem de colocação dos materiais, mantida igual em todos os traços, foi: agregado graúdo + cimento + cristalizante + agregado miúdo + água + aditivo plastificante e dosagem final de água. Este padrão de mistura foi adotado para todos os traços, sendo que este é idêntico ao padrão utilizado pelo laboratório que cedeu o espaço para que fosse possível a realização destes ensaios.

**Figura 5** - Mistura dos traços na betoneira

Fonte: Autor (2021).

Após a mistura e homogeneização dos materiais na betoneira a qual durou entre 8 e 10 minutos, realizou-se a verificação do abatimento pelo tronco de cone, conforme prescreve a NBR 16889 (ABNT, 2020), predefinido em  $120 \pm 30$  mm para todos os concretos.

Os resultados obtidos foram:

**Tabela 5** - Resultados do teste de Slump

<b>Traço</b>	<b>Slump</b>
Sem adição cristalizante	14,5 cm
0,8% de adição cristalizante	14 cm
1% de adição cristalizante	14 cm

Fonte: Autor (2021).

**Figura 6** - Realização do teste de abatimento do tronco de cone (slump).



Fonte: Autor (2021).

Com o abatimento verificado, moldaram-se os corpos de prova conforme procedimentos especificados na NBR 5738 (ABNT, 2015). Para cada traço produzido, moldaram-se 6 CPs que, após a moldagem, foram identificados e permaneceram em local protegido e sob temperatura ambiente de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  (entre  $23^\circ\text{C}$  e  $25^\circ\text{C}$ ).

**Figura 7 -** Corpos de Prova (CPs)



Fonte: Autor (2021).

Após as primeiras 24 horas, os Corpos de Prova (CPs) foram desmoldados e submetidos ao processo de cura em câmara úmida, com temperatura e umidade controladas. Os corpos de prova permaneceram em processo de cura até a idade de realização dos ensaios.

**Figura 8 -** Processo de cura dos CPs em câmara úmida



Fonte: Autor (2021)

No dia anterior à realização do ensaio de resistência à compressão, procedeu-se com o preparo das bases dos corpos de prova, buscando garantir a planicidade e perpendicularidade entre elas, através de processo de retificação.

**Figura 9** - Processo de retificação dos CPs



Fonte: Autor (2021)

Após o processo de retificação dos corpos de prova, foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial, o qual seguiu as prescrições da NBR 5739 (ABNT, 2018). Este ensaio foi realizado em uma prensa da marca Solo Teste com potência de 100 Tf a uma velocidade de aplicação de tensão de 0,45 MPa/s mantida constante durante todo o ensaio. Durante este procedimento foram rompidos aos 28 dias, dois corpos de prova para cada um dos três traços propostos e posteriormente aos 56 dias, o teste foi repetido para verificação de possíveis alterações nas características.

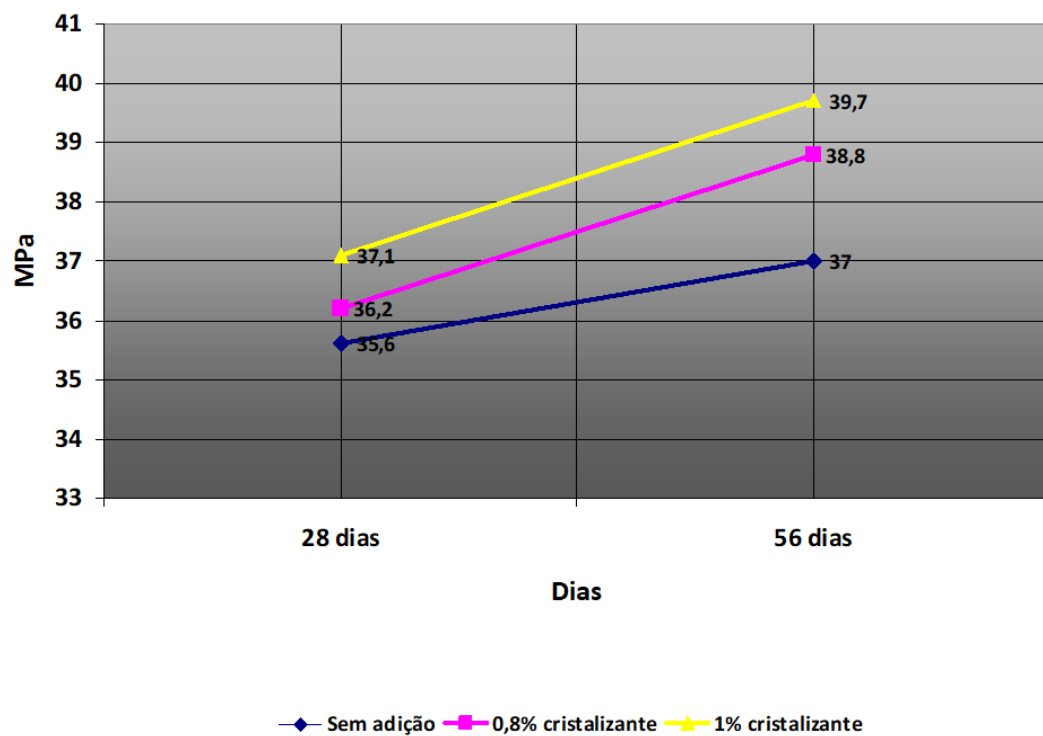
**Figura 10** – Prensa hidráulica utilizada no teste de rompimento dos CPs.



Fonte: Autor (2021).

Os resultados referentes ao teste de compressão axial foram os seguintes:

**Figura 11** - Gráfico do teste de Resistência à compressão axial



Fonte: Autor (2021).

Os resultados analisados demonstraram que ao se comparar um traço sem adição cristalizante com o traço composto por 0,8% de adição, têm-se aos 28 dias um ganho de aproximadamente 1,69% na resistência à compressão. Já aos 56 dias este ganho sobe para aproximadamente 4,87%. O ganho de resistência é maior ao comparar o traço padrão com o aditivado com 1% de cristalizante, que obteve ganho de resistência em torno de 4,22% aos 28 dias e aproximadamente 7,3% após 56 dias o que representa um valor significativo sendo que o objetivo principal da adição é o aumento da longevidade, mais especificamente ao reduzir a porosidade da mistura o que conseqüentemente causa o aumento da resistência da amostra.

Para a determinação do percentual de absorção o próximo ensaio realizado foi o de absorção total, também conhecido como absorção por imersão, em conformidade com a NBR 9778 (ABNT, 2005). Além da determinação da absorção de água, o ensaio permite caracterizar o índice de vazios e a massa específica das amostras. A sucção capilar é o mecanismo principal no transporte de água neste tipo de ensaio. Porém, devido aos corpos de prova permanecerem totalmente submersos, pode-se considerar que uma penetração de água sob pressão de pequena intensidade também acontece simultaneamente (SILVA FILHO, 1994).

Destaca-se que a NBR 9778 (ABNT, 2005) determina uma temperatura de 105 °C para a secagem das amostras em estufa, valor que segundo Day e Marsh (1988 apud SILVA FILHO, 1994) pode causar, se não houver controle, o aparecimento de fissuras de origem térmica e até o colapso da microestrutura do concreto, o que levaria a um aumento na própria absorção. De qualquer forma, os procedimentos estipulados pela norma foram seguidos sem alterações por motivos de padronização.

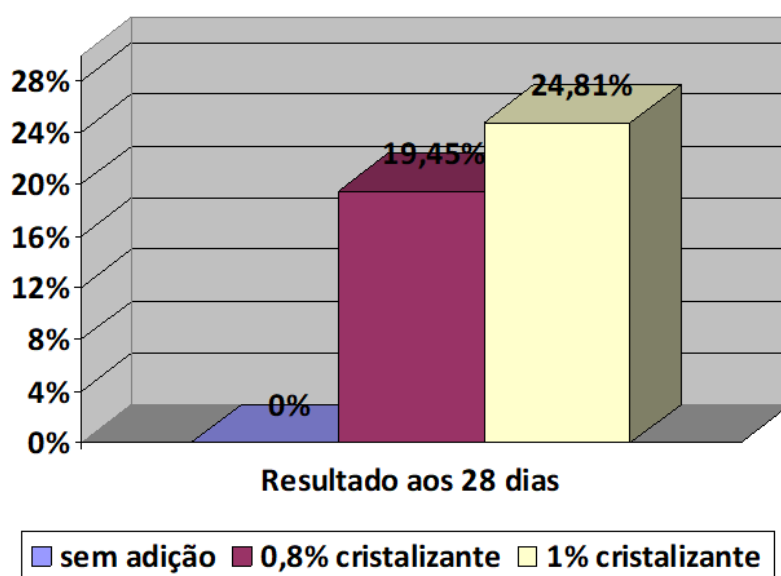
**Figura 12** - CPs submersos para ensaio de absorção



Fonte: Autor (2021).

Os resultados do teste de absorção de água por imersão foram colhidos após o vigésimo oitavo dia. Com índice de 6,53% para o traço sem cristalizante e para os traços com 0,8% e 1% de adição cristalizante, os resultados foram 5,26% e 4,91% respectivamente.

A redução na taxa de absorção pode ser melhor visualizada de na figura a seguir:

**Figura 13** - Gráfico do percentual de Redução de Absorção

Fonte: Autor (2021).

Como foi possível verificar através do estudo, o uso do cristalizante auxilia na redução da absorção do concreto ao reduzir sua porosidade através da formação dos cristais. Pôde-se notar que seu desempenho foi melhor no quinquagésimo sexto dia com adição de 1% sobre a massa do cimento evidenciado pelo teste de compressão axial que resultou em um ganho de resistência em torno de 7,3%. Já para o teste de absorção sua performance foi ainda melhor ao apresentar redução do índice de porosidade de 24,81% no vigésimo oitavo dia para adição de 1% de cristalizante. Estes resultados demonstram a melhora das características analisadas evidenciando nestes aspectos que sim, a adição pode realmente ser uma ferramenta de aumento da longevidade das estruturas de concreto armado.



## 7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos por meio da metodologia e com os materiais utilizados neste estudo mostraram que o cristalizante exerce influência significativa nas propriedades do concreto endurecido.

Destaca-se os resultados de resistência à compressão, tanto para o concreto referência como para o concreto com a adição do cristalizante, apresentando melhores resultados para maior porcentagem de cristalizante. Os resultados para o traço padrão foram de 35,6 Mpa aos 28 dias e 37 Mpa no quinquagésimo sexto dia, para o traço composto por 0,8 % de cristalizante os resultados foram 36,2 Mpa aos 28 dias e 38,8 Mpa aos 56. Já para o traço com adição de 1% de cristalizante os resultados foram aos 28 e 56 dias respectivamente 37,1 Mpa e 39,7 Mpa.

Nos ensaios de absorção os resultados foram ainda mais expressivos com maior redução de absorção para o traço com 1% de adição cristalizante, de maneira que a redução da taxa de absorção chegou a aproximadamente 24,81% em relação ao traço sem adição de cristalizante. Desta forma, os resultados obtidos no ensaio realizado aos 28 dias para o traço sem cristalizante 6,53%, enquanto para o traço aditivado com 0.8 % de cristalizante a taxa de absorção caiu para 5,26% e para o traço com 1% de adição cristalizante a taxa performou 4,91%.

A análise dos resultados objetos deste estudo evidenciam com base no coletado que realmente há ganho de resistência e redução da absorção quando da utilização da adição cristalizante o que impactará diretamente na estrutura do concreto e conseqüentemente trará benefícios inclusive auxiliando como dispositivo de aumento da vida útil da estrutura de concreto armado.

Embora o uso de aditivos cristalizantes já ocorra de forma ampla no Brasil ainda não há uma norma técnica que indique como devem ser os ensaios para comprovação de sua eficácia enquanto é desenvolvido o estudo do concreto para determinada obra. Os ensaios realizados, na falta dos normatizados, buscam comprovar os ganhos técnicos com a inserção do cristalizante.

Este trabalho permitiu uma análise do efeito do aditivo cristalizante nas propriedades do concreto endurecido, contudo, ainda há muitas perguntas a serem respondidas e o aditivo cristalizante ainda precisa ser melhor conhecido e difundido no mercado da construção civil. Estudos que contemplem a mudança no comportamento microestrutural proporcionada pela

presença do aditivo se fazem necessários para uma melhor análise de alguns resultados obtidos.

Como sugestão para estudos futuros podem ser realizados estudos com percentuais diferentes de adição cristalizante, superiores às indicadas pelo fabricante os quais foram utilizados neste projeto de pesquisa, verificando-se desta forma até onde o percentual de adição auxilia no aumento da vida útil das estruturas e também quais as reações do traço de concreto quando composto com percentuais maiores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI Committee 212, **Report on Chemical Admixtures for Concrete** (ACI 212.3R-10), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, (2010), pp. 46-50.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 11768-1: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 16889: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

\_\_\_\_\_. **NBR 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR 16917: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248: Agregados-Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 3310-1: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1:2000, IDT)**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **A nova norma de especificação de cimento ABNT NBR 16697: Saiba o que mudou e o que não mudou**. Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/a-nova-norma-de-especificacao-de-cimento-abnt-nbr-16697-saiba-o-que-mudou-e-o-que-nao-mudou/>. 2018. Acesso em: 28 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto.**

Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/#:~:text=Estima%2Dse%20que%20as%20concreteiras,projetar%20tend%C3%AAs%20para%20o%20setor>. São Paulo, 2013. Acesso em: 22 abr. 2021.

BATTAGIN, Arnaldo Forti; RODRIGUES, Hugo. Recomendações sobre o uso dos distintos tipos de Cimento Portland nas diferentes aplicações. **Concreto e construções**, v. 73, p. 30-38, 2014.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção 1**. Livros Técnicos e Científicos, 4ª Edição, 1992.

CARVALHO, João Dirceu Nogueira de. Sobre as origens e desenvolvimento de concreto. **Revista tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 95-112, 2008.

CIMENTO MAUÁ. **Como é feito o cimento, sua composição e nomenclatura no mercado.**

Disponível em: [https://cimentomaua.com.br/cimento-como-feito-composicao-e-nomenclatura/?fb\\_comment\\_id=1806861512721198\\_3372002209540446](https://cimentomaua.com.br/cimento-como-feito-composicao-e-nomenclatura/?fb_comment_id=1806861512721198_3372002209540446). Acesso em: 13 abr. 2021.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições Minerais. **Concreto: ciência e tecnologia**, v.1, 2011.

DE MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias; DE OLIVEIRA ANDRADE, Jairo José; DO LAGO HELENE, Paulo Roberto. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. **Concreto: ciência e tecnologia**, v.1, 2011.

DYER, Thomas. **Durabilidade do Concreto**. Ciência Moderna Ltda. Rio de Janeiro, 2015.

FONSECA, Gustavo Celso da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. 2010.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. Pini, 2008.

HARTMANN, Carine et al. Aditivos químicos para concretos e cimentos. **Concreto: ciência e tecnologia**, v. 1, 2011.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto**. 2014.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, 1993. Tese (Livre docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ISAIA, Geraldo Cechella et al. **Concreto: Ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, v. 1, 2011.

MALHOTRA, V. Mohan; MEHTA, Povindar K. **Pozzolanic and cementitious materials**.

Taylor & Francis, 1996.

MAPA DA OBRA. **Tipos de agregados: descubra as diferenças**. São Paulo, 27 dez. 2019. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/agregados/>  
Acesso em: 30 abr. 2021.

MC-BAUCHEMIE BRASIL. **Xypex Admix C-500NF**. Argamassa cristalizante para impermeabilização por adição no concreto. Disponível em: [https://www.mc-bauchemie.com.br/assets/downloads/products/pt-BR/fichas\\_tecnicas/Xypex%20Admix%20C-500%20NF.pdf](https://www.mc-bauchemie.com.br/assets/downloads/products/pt-BR/fichas_tecnicas/Xypex%20Admix%20C-500%20NF.pdf). Acesso em: 21 abr. 2021.

MEDEIROS, H. **Doenças concretas**. Revista técnica, São Paulo, n. 160, p. 62-68, jul. 2010.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo. Jose Melaragno. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto – 5ª Edição**. Bookman Editora, 2016.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

OURIVES, Cláudio Neves; BILESKY, Pedro Carlos; YOKOYAMA, Celina Miki. **Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Impermeabilização por Cristalização Capilar do Concreto**. In: Revista Concreto e Construções nº 55. – Ibracon, Salvador, Brasil, 2008.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto e construções**, v. 53, p. 14-19, 2009.

PLANETA EUROPA. **Passeios em Roma: seleção das melhores opções pagas e grátis**. Disponível em: <https://planetaeuropa.com/italia/10-melhores-atracoes-e-passeios-de-roma/>. Acesso em: 12 abr. 2021.

PUGLIESI, Nataly; BATTAGIN, A. F.; DA CRUZ, F. R. **Cimento: diferentes tipos e aplicações**. 2016.

SBRIGHI NETO, Claudio. **Agregados naturais, britados e artificiais para concreto**. ISAIA, GC Concreto: ciência e tecnologia, v. 1, p. 1, 2011.

SILVA, Turibio J. da. Mecanismos de Transporte de Massa no Concreto. **Concreto: ciência e tecnologia**, v. 1, 2011.

SOUZA, Vicente Custodio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini, 1998.

TAKAGI, Emilio Minoru; JÚNIOR, Waldomiro Almeida; OLIVEIRA, Fernando Souza. **Tratamento químico cristalizante para impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46, 2004, Florianópolis. Anais Florianópolis, Ed. IBRACON, 2004.