

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

PASSOS, Amanda Mendes

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis  
(amandampassos@icloud.com)*

QUARESMA, Wanessa Mesquita Godoi

*Docente, Mestra em Eng. Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis  
(wanessa.m.godoi@hotmail.com)*

### **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 composto nocivo a água doce e 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.

## **1 INTRODUÇÃO**

Por ser tratar de um material durável, economicamente viável, que possibilita a pré-moldagem, que protege a armadura da corrosão e adapta-se a diversas formas, o concreto convencional é um elemento de grande utilização no setor da construção civil. Diante desses fatores o concreto requer uma atenção especial para que as estruturas que utilizam esta mistura com o agrupamento interno de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo, água e em alguns casos aditivos possa alcançar o desempenho, a durabilidade e a vida útil previstos.

As estruturas de concreto convencional estão inseridas em ambientes que contém diferentes níveis de agressividade, esses ambientes são classificados de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) e estão divididos em: classe I, classe II, classe III e classe IV e possuem um risco de deterioração insignificante, pequeno, grande e elevado respectivamente. Desse modo a NBR 6118 (ABNT, 2014) também determina alguns parâmetros para o dimensionamento das estruturas como a resistência do concreto e o cobrimento nominal de acordo com o ambiente em que as estruturas se encontram.

Os ambientes agressivos podem provocar diferentes tipos de patologias nas estruturas como o ataque por sulfatos, a carbonatação do concreto, a corrosão da armadura, a lixiviação, a abrasão, a cavitação, a erosão, e ainda o surgimento de fissuras, de trincas e de eflorescências, entre outros, desta maneira as patologias se associam com os conceitos de durabilidade, de vida útil, de resistência, de prevenção e de manutenção. Esses conceitos são fundamentais, pois uma estrutura de concreto armado precisa resistir às influências ambientais e manter a segurança, a funcionalidade, a aparência aceitável e as condições satisfatórias de uso.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS**

Para a determinação do traço de concreto é fundamental em primeiro lugar realizar a caracterização dos agregados, esse procedimento consiste em encontrar as propriedades necessárias como: a massa específica, a massa unitária e o módulo de finura para a realização do cálculo do traço de concreto. Para os ensaios de

caracterização dos agregados miúdos e dos agregados graúdos foi utilizado às NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 53 (ABNT, 2009).

## 2.2 DEFINIÇÃO DO TRAÇO

O traço de concreto foi elaborado de acordo com o método de dosagem ACI/ABCP, esse procedimento de dosagem é uma adaptação do método de dosagem americano ACI 211.1-81. O método de dosagem ACI/ABCP utiliza a proporcionalidade entre o cimento, o agregado miúdo, o agregado graúdo, a água e o aditivo quando necessário. Desta forma o traço encontrado foi 1:1,91:1,99:0,53 e a quantidade para 12 corpos de prova foi 9 kg de cimento, 17,19 kg de areia, 17,91 kg de brita e 4,77 kg de água.

## 2.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO

A produção do concreto foi realizada através da mistura mecânica com o emprego de uma betoneira. A primeira etapa é o peneiramento do agregado miúdo e do agregado graúdo para assim retirar todas as impurezas que possam conter no meio desses materiais e que sejam capazes de afetar as propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido. Posteriormente realiza-se a separação das quantidades de cimento, de agregado miúdo, de agregado graúdo e de água especificados através do cálculo do traço.

Para a mistura na betoneira é necessário em primeiro lugar colocar o agregado graúdo, ou seja, a brita 0 e uma pequena parcela de água, em seguida deve ser colocado o cimento, para que haja uma boa distribuição de cada partícula de água para cada partícula de cimento, sucessivamente é adicionado o agregado miúdo, isto é a areia média que efetua o tamponamento dos materiais já colocados, e por fim é incorporado o restante da água. A mistura é realizada até que se obtenha a homogeneização dos materiais.

É necessário a realização do slump test para verificar se o abatimento do concreto foi igual ao determinado na elaboração do traço, para isto segue o procedimento descrito na NBR NM 67 (ABNT, 1998), o slump obtido foi igual a 200 mm. Realizado todos os procedimentos faz-se a moldagem de 12 corpos de prova seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2015) onde é fundamental untar os corpos de prova com óleo mineral para que

em seguida possa colocar-se o concreto nos moldes, ele deve ser dividido em duas camadas iguais e cada camada deve ser adensada com 12 golpes, sendo que os golpes da última camada não podem atingir a primeira.

## 2.4 CURA DOS CORPOS DE PROVA

Os 12 corpos de prova devem seguir para a câmara úmida para ser realizado o procedimento de cura, que significa a aglutinação das partículas do concreto. Os 8 corpos de prova que seguirão para os ambientes do grupo 1: ambiente sem agressividade, grupo 2: ambiente submerso em água, grupo 3: ambiente com ações da natureza e grupo 4 ambiente submerso marinho tiveram um tempo de cura igual há 14 dias. Os 4 corpos de prova que foram utilizados para a verificação da resistência permaneceram na câmara úmida 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 (unidades)</b>	<b>Dias na câmara úmida (dias)</b>
Grupo 1: ambiente sem agressividade	2	14
Grupo 2: ambiente submerso em água	2	14
Grupo 3: ambiente com ações da natureza	2	14
Grupo 4: ambiente marinho submerso	2	14
Grupo de controle	4	28

Fonte: Própria autora, 2018.

## 2.5 DISPOSIÇÃO DOS 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.

### **2.5.1 Grupo 1: ambiente sem agressividade**

O ambiente sem agressividade é aquele que não apresenta em seu meio componentes nocivos que são capazes de deteriorar as estruturas de concreto. Para demonstrar esse ambiente os corpos de prova saíram da câmara úmida e permaneceram em uma sala fechada sem agressividade, para que em seguida fossem analisadas as características visuais e as características mecânicas.

### **2.5.2 Grupo 2: ambiente submerso em água**

O concreto submerso em água é utilizado em obras que precisam ser executadas parcialmente ou completamente na presença de água. A representação desse ambiente acontece imergindo os corpos de prova em uma caixa d'água com um volume de água doce igual a 1000 litros, esta que se encontra dentro da câmara úmida do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. Os corpos de prova ficaram submersos por um período de 30 dias para que então sejam verificadas as características dos corpos de prova.

### **2.5.3 Grupo 3: ambiente com ações da natureza**

As ações da natureza como sol, chuva, vento e gelo afetam as estruturas de concreto causando a deterioração da mesma. A simulação deste ambiente ocorre através de ciclos de molhagem e secagem nos corpos de prova de concreto elucidando assim o que acontece com as estruturas sujeitas a ação da chuva. O estudo é feito através de ciclos de molhagem e secagem onde os corpos de prova de concreto são submersos em água por um período de 30 minutos para que o líquido penetre através dos poros do concreto em seguida eles passam pelo processo de secagem ao ar livre para que a água possa então evaporar, este ciclo ocorreram durante um intervalo de 30 dias.

### **2.5.4 Grupo 4: ambiente submerso marinho**

Sendo o ambiente marinho capaz de causar a maior influência sobre o concreto, a salinidade da água e da atmosfera marinha é capaz de provocar a aceleração da degradação das estruturas. A demonstração desse ambiente faz a simulação da água

marinha usando 3,5% de cloreto de sódio e 5% de sulfato de sódio, pois esses íons são os que possuem maior representatividade com a água do mar. Realiza-se a mistura de 6,70 kg de água que é a quantidade necessária para imergir os corpos de prova com a proporção desses componentes. A simulação deste ambiente agressivo ocorreu em um prazo de 30 dias.

### **3 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 de prova que foram sujeitos aos respectivos ambientes atingiriam a resistência. O rompimento destes corpos de prova demonstrou uma resistência média de 29,1 MPa.

#### **3.1 ANÁLISE VISUAL**

##### **3.1.1 Grupo 1: ambiente sem agressividade**

Os corpos de prova dispostos nesse ambiente apresentaram uma pequena porosidade que pode estar relacionada com uma deficiência na etapa do adensamento ou com o fator água/cimento do traço, apresentou ainda cor uniforme, sem a presença de manchas e também sem a presença de fissuras, assim esse grupo é utilizado como controle e comparação do efeito das patologias.

##### **3.1.2 Grupo 2: ambiente submerso em água**

Os corpos de prova submersos exibiram em sua estrutura descolorações e manchas brancas que são sinais de eflorescência, causadas pelo processo de lixiviação e também pequenas trincas, principalmente na base dos corpos de prova.

##### **3.1.3 Grupo 3: ambiente com ações da natureza**

A simulação deste ambiente agressivo mostrou nos corpos de prova uma porosidade compatível com o grupo 1, além disso o aparecimento de descolorações e de manchas marrons indicando o início do processo de corrosão do concreto.

### 3.1.4 Grupo 4: ambiente submerso marinho

Dentre os ambientes agressivos, os corpos de prova desse grupo foram os que apresentaram maior manifestação das patologias. Os corpos de prova apresentaram maior porosidade quando comparados com o do grupo 1, demonstraram ainda manchas brancas e pequenas linhas brancas provenientes da lixiviação. É importante ressaltar que o balde em que os corpos de prova permaneceram apresentou fragmentos de concreto no fundo.

## 3.2 COMPRESSÃO AXIAL

Os resultados obtidos com o ensaio de compressão com base na NBR 5739 (ABNT, 2018) foram:

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

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

Fonte: Própria autora, 2018.

## 3.3 TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os resultados obtidos com o ensaio de tração por compressão diametral com base na NBR 7222 (ABNT, 2011) foram:

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

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

Fonte: Própria autora, 2018.

## 4 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 à 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 possuíram 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 tecnológica dos materiais utilizados, a realização de ações preventivas regularmente com o intuito de detectar as patologias antecipadamente e elaborar um programa de manutenção eficaz.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015. 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 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018. 9p.

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 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.

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.

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

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado:** Segundo a NBR 6118:2014. 4 ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 415 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.

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

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.

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.

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.

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/1enppcpm/cd/conteudo/trab\\_pdf/125.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpm/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.

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.

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