

CARBONATAÇÃO DO CONCRETO: Análise comparativa da profundidade de carbonatação em concretos com agregados convencionais e reciclados

Hébori Cristine Silva^{1*}

Prof. Esp. Felipe Pereira Melo^{**}

RESUMO

Este trabalho analisa a profundidade da carbonatação em concretos com agregados convencionais e agregados reciclados. As estruturas de concreto são atacadas por diversas patologias, dentre elas destaca-se a corrosão das armaduras manifestado pelo fenômeno da carbonatação do concreto. O presente artigo aborda o processo da carbonatação do concreto pelo método acelerado através da câmara de carbonatação, onde foram realizados ensaios no laboratório na Cidade Universitária do Grupo Unis. O método de acelerado através da câmara de carbonatação é um ensaio que consiste em obter amostras em elevadas concentrações de CO₂ em câmara. Tal abordagem se faz necessária para comparar a profundidade de carbonatação entre os concretos com diferentes tipos de agregados. Para este objetivo, foram feitos 18 corpos-de-prova para produção de concretos, que foram introduzidos para ensaios de compressão 6 corpos-de-prova e tração por compressão diametral foram 12 corpos-de-prova. Desses corpos-de-prova, 12 foram colocados na câmara de carbonatação para a exposição direta ao CO₂ e os 6 foram colocados em um tanque de H₂O para hidratação. Após rompidos à tração por compressão diametral, colocou-se sobre os 12 corpos-de-prova a solução de fenolftaleína, após 4 horas com auxílio de um paquímetro, houve a medição da profundidade da carbonatação, para a realização do estudo e a análise dos dados obtidos.

Palavras-chave: Concreto. Carbonatação. Patologia.

1 INTRODUÇÃO

^{1*} Aluna do 10º período do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS MG.
E-mail.: heborycristine@gmail.com

^{**}Prof. Esp. Felipe Pereira Melo. Engenheiro Civil, Especialista em Gestão de Projetos, Docente no Centro Universitário do Sul de Minas.

Desde o início quando começaram a utilizar o concreto armado em diversas estruturas, esse vêm resistindo às diversas sobrecargas e ações do meio externo, como clima, temperatura e ambiente (POLITO, 2006).

Esse processo é iniciado na superfície do concreto, formando a frente de carbonatação, e vai avançando para o interior chegando à armadura. O concreto normalmente possui meio alcalino entre 12,6 e 13,5; este “pH pode baixar para próximo de 8,5 quando o processo de carbonatação é iniciado, o que acarreta a despassivação do aço, corrosão das barras da armadura, podendo até mesmo haver um colapso de toda a estrutura de concreto.” (POLITO, 2006).

Quimicamente falando, o dióxido de carbono (CO_2) penetra nos “poros do concreto, dissolvido na umidade que está contida na estrutura,” formando o ácido carbônico ($\text{H}_2(\text{CO})_3$). “Posteriormente esse ácido reage com alguns dos componentes da pasta” de cimento hidratada, resultando em água e carbonato de cálcio (CaCO_3). O composto que reage rapidamente com (H_2CO_3) é o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). “O carbonato de cálcio não deteriora o concreto, porém durante a sua formação consome os álcalis da pasta e reduz o pH, tornando o concreto frágil.” (CALAZANS, 2013).

O objetivo deste trabalho foi analisar a frente de carbonatação do concreto em corpo de prova feito com agregados convencionais comparando o resultado com corpos de prova feitos com a combinação agregados reciclados. Foi realizado pesquisas bibliográficas sobre o estudo da carbonatação e os fatores intervenientes na velocidade da carbonatação.

Foi definido os traços do concreto produzido para análise, realizados ensaios de corpo de prova de concretos feitos com agregados convencionais e realizados ensaios de corpo de prova de concretos feitos com agregados reciclados, para comparação dos resultados dos ensaios realizados.

2 CARBONATAÇÃO

A carbonatação é uma patologia desencadeada por um processo físico-químico que ocorre lentamente entre os produtos alcalinos do concreto com gases ácidos. Esses produtos alcalinos são formados pelos íons de sódio (Na), potássio (K) e principalmente cálcio (Ca)

que permitem a entrada de água e são provenientes da reação de hidratação do cimento. (CADORE, 2008).

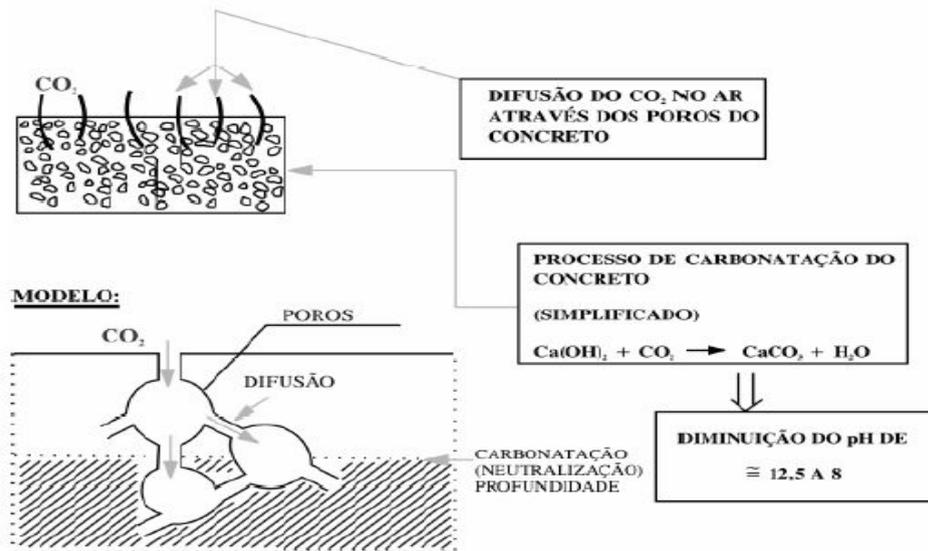
Para Cadore (2008), os gases ácidos que podem ser encontrados no ar atmosférico, principalmente em ambientes urbanos, são o gás sulfídrico (H_2S), o dióxido de enxofre (SO_2) e o gás carbônico (CO_2), sendo o gás carbônico com maior preponderância. Esse processo tem o nome de carbonatação pelo fato de neutralizar o hidróxido de cálcio (CH) pelo gás carbônico, onde acontece a transformação de um hidróxido alcalino em sal de baixa solubilidade, o carbonato de cálcio ($CaCO_3$).

Segundo Tokudome, 2009 as principais substâncias em fase gasosa que podem vir a comprometer o concreto são, “o (CO_2) se destaca por provocar assim a carbonatação, consumo do sódio (Na), potássio (K) e o cálcio (Ca) formando o hidróxido de cálcio (CH) que é a barreira de neutralização dos ácidos formados pela penetração dos gases e água no concreto, sendo oxigênio responsável pela corrosão das armaduras” e a biodegradação, já o vapor da água é especialmente responsável pela redução da resistência e pelo ataque dos cloretos na penetração dos poros do concreto. (TOKUDOME, 2009).

O principal efeito da carbonatação segundo Metha e Monteiro (2008) é a redução da alcalinidade do concreto, ou seja, seu pH (potencial hidrogênico) que originalmente se encontra acima de 12,5 reduz-se para valores inferiores a 8,5, quando o hidróxido de cálcio se transforma em carbonato de cálcio.

No esquema abaixo, a frente de carbonatação acontece na superfície, dividindo-se em duas zonas de PH muito distintas, sendo uma com o PH superior a 12 e a outra com o PH próximo a 8. O PH reduzido e o avanço da carbonatação para o interior do concreto, atingindo a armadura. CEB/BI 152 (1984)

Figura 1: Avanço do processo de carbonatação.



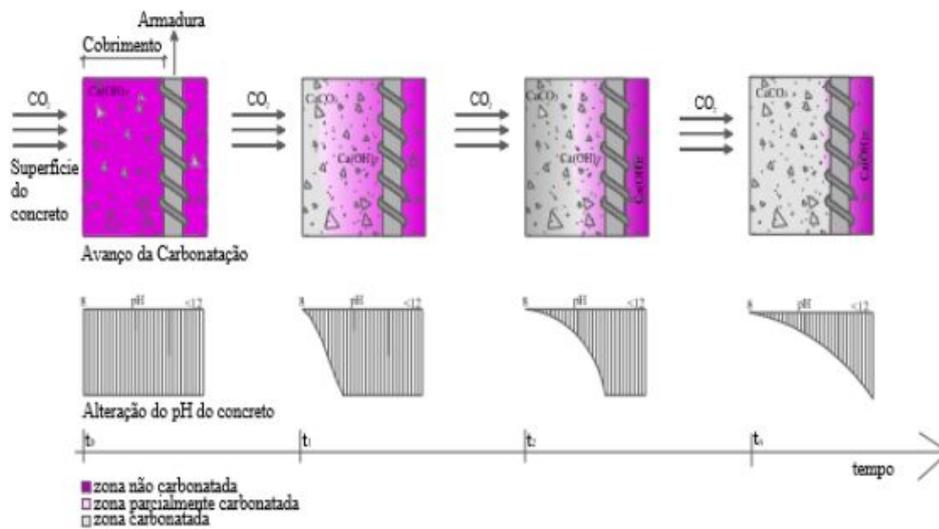
Fonte: CEB-BI 152 (1984).

Outras reações causadas pela carbonatação é o volume dos poros (poros de diâmetro maiores de 30mm) do concreto e alteração da permeabilidade, em razão das alterações causadas pelas reações químicas. “Com a precipitação do CaCO_3 reduz a porosidade do cimento, pois há um maior volume que os outros compostos hidratados como o CH”. (NGALA E PAGE, 1997)

Segundo Neville (1997) que destaca a retração, como outro processo da carbonatação, “a perda de moléculas de água” e a diminuição do volume da “pasta de cimento endurecida com a dissolução do Ca(OH)_2 nas zonas onde ele está sob tensão e precipitação” do CaCO_3 em espaços que não estão sujeitos a tensão. O autor ressalta ainda “que a água liberada pela reação de carbonatação pode ajudar na hidratação do cimento”, o que ressaltaria numa maior dureza superficial, menor permeabilidade superficial, resultando numa menor movimentação da umidade.

Para Possan (2010) “são identificadas três zonas distintas: uma carbonatada com pH inferior a 8,5, uma parcialmente carbonatada com pH aproximadamente a 10 e uma zona não carbonatada com pH maior a 12,5.” Para maior clareza, na figura 2 observa-se a mudança no pH no processo de carbonatação, um esquema ilustrativo elaborado por Possan (2010), em seu estudo sobre a vida útil das estruturas de concreto.

Figura 2: Frente de carbonatação e alteração do Ph do concreto no tempo.



Fonte: Possan, 2010.

Os gases como o (CO₂), (SO₃) e o (H₂S) atuam com o “tempo na superfície exposta das estruturas de concreto de forma que reduzem a alta alcalinidade do concreto e acabam por desproteger a armadura inserida, a reação de carbonatação e vem apresentando papel importante.” (POSSAN, 2010).

A carbonatação é uma reação que ocorre em concretos expostos ao ambiente natural onde algumas condições como: temperatura, umidade e concentração de (CO₂) que influenciam na velocidade do processo. “A composição química do cimento tem influência significativa onde fatores” como o tipo de cimento, a relação água/cimento e as adições minerais podem acelerar ou retardar o processo de carbonatação. (CASCUDO E CARASEK, 2011)

Segundo Cascudo e Carasek as condições de cura tem grandes importâncias sobre as condições de proteção do concreto á carbonatação, como ocorre de fora para dentro da estrutura a difusão de (CO₂), onde uma cura adequada aumenta a hidratação da pasta de cimento na superfície do concreto diminuindo assim a porosidade. Uma das principais causas de corrosão nas armaduras em concreto é a carbonatação que ocorre quando os produtos alcalinos da hidratação do cimento, acessam meios aquosos no interior do concreto através de superfícies porosas.

2.1 Carbonatação Acelerada

É quando uma amostra de cada traço foram submetidas “ao ensaio acelerado de carbonatação pelo período de um mês ou por mais tempo, sendo executado em câmaras de carbonatação com umidade relativa” de 70% e concentração de 3% de (CO₂), ambos controlados por medidores e pode ser analisado em ambientes com condições controladas de umidade relativa, temperatura e concentração de (CO₂), processo denominado de ensaio de carbonatação acelerada.

Os ensaios acelerados em concreto simulam um “processo de neutralização da camada de cobrimento” com intensidade superior à esperada em condições normais de serviço. Desenvolvidos em laboratório, tendo como objetivo reduzir o tempo necessário para que ocorra a deterioração do concreto. (POSSAN, 2010).

Para Isaia (1999), como efeito de estudo comparativo entre os tipos diferentes de concreto ou de fatores intervenientes, pesquisas de laboratórios empregam ensaio acelerado em câmaras condicionadas com atmosfera rica em dióxido de carbono, com o objetivo de acelerar as reações de carbonatação. As taxas de variação utilizadas em ensaios acelerados influenciam no resultado final, tais como as conclusões encontradas, quando se emprega “determinada concentração de dióxido de carbono em um experimento, são restritas àquelas” condições de ensaio.

Recentes foram feitas pesquisas que afirmam que teores muito elevados de (CO₂) em câmaras condicionadas modificam a microestrutura do concreto, especialmente, a dos silicatos. Um trabalho apresentado por Castellote et al. (2008) “mostrou que teores de concentração de (CO₂) acima de 3% modificaram” a estrutura dos silicatos e, conseqüentemente, a microestrutura dos compostos hidratados da pasta cimentícia.

2.2 Carbonatação Natural

A carbonatação natural, que também recebe o nome de não acelerado, de campo ou de longa duração, é quando as “amostras foram ao mesmo tempo expostas ao ambiente natural para” análise de sua carbonatação natural. Essas amostras foram mantidas em ambientes protegidos e desprotegidos dos intempéries. (POSSAN, 2004).

Estudos “sobre a carbonatação através do método natural ainda são poucos utilizados em” pesquisas, pois as reações decorrentes do (CO₂) nos poros, são relativamente lentas nas estruturas de concreto em dado ambiente. Isso vem ocorrer, porque a sua concentração no ar

é baixa (aproximadamente 0,04% em atmosferas normais), resultando num processo que, muitas vezes, torna inviável o tempo de espera para a “determinação da velocidade de carbonatação, que pode levar até 20 anos” (POSSAN, 2010).

Muntean et al. (2005) apud Tasca (2012) elaboraram uma ampla pesquisa sobre os ensaios naturais e acelerados. Os autores ratificam que os ensaios acelerados não podem ser extrapolados para a exposição natural através da simples mudança de escala de concentração de (CO₂). A exposição das amostras no processo de neutralização natural é relevante, já em que fatores como o teor de dióxido de carbono no ambiente, a umidade relativa e a temperatura, são importantes para a determinação da carbonatação e têm grande influência nos dados coletados.

De acordo com John (1987), comparando ensaios acelerados e naturais, os naturais oferecem vantagens em relação à interação real com o meio ambiente, a exposição às intempéries e a possibilidade de avaliação da degradação. O autor aborda como desvantagens o longo período necessário para realizar os ensaios e obter os resultados, as mudanças do ambiente de exposição ao longo do tempo e as alterações nas características dos materiais, em virtude da evolução tecnológica.

Possan (2010) ainda destaca que em relação a vida útil das estruturas em ambiente urbano, a ASTM E 632 (1996), que recomenda a utilização de ensaios não acelerados – ao natural – ou, então, que os ensaios acelerados sejam correlacionados com resultados obtidos nos ensaios natural.

Ainda é um tema de grande relevância e de difícil comparação de resultados com certa legitimidade entre os ensaios de exposição naturais com os ensaios acelerados. Isso ocorre, porque, nos ensaios acelerados, procura-se normalizar o ensaio, utilizando teores de (CO₂), umidade e temperatura constantes, enquanto ao ensaio natural, as estruturas de concreto estão expostas a condições ambientais diferentes, variáveis e cíclicas. (TASCA, 2012).

Os autores Ho e Lewis (1987) apud Barin (2008) sugerem, para ensaio acelerado com 4% de (CO₂), 50% de umidade relativa do ar e cura prévia de sete dias a 23°, que a relação de 1 semana em câmara condicionada equivale a 1 ano de ensaio natural nas condições ambientais normais. Sendo uma sugestão, já que ainda é difícil considerar uma relação precisa entre o ensaio de carbonatação acelerada e condições ambientais normais, devido ao grande número de fatores que influenciam no resultado final. Sendo de grande relevância o

conhecimento das relações que interligam os resultados dos ensaios acelerado e natural, visando as alterações sofridas pela microestrutura do concreto, quando a concentração de (CO₂) aumenta acima de um dado limite.

Já para os autores Baroghel-Bouny et al. (2008) apud Tasca (2012), a representatividade dos ensaios de carbonatação acelerada e natural, estão suscetíveis à uma evolução de microestrutura e de diferentes propriedades em comparação ao envelhecimento natural. Os autores afirmam em seu estudo que foram observadas as modificações em estruturas de concretos submetidos a ensaios de carbonatação acelerada com teores altos de dióxido de carbono, já que forma-se uma capa de CaCO₃ ao redor dos cristais de Ca(OH)₂, impedindo a carbonatação total.

2.3 Fatores Intervenientes na Velocidade e Profundidade de Carbonatação

Em consideração as condições ambientais, fatores importantes que influenciam na carbonatação são: “concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, umidade relativa do ar e temperatura.” (KAZMIERCZAK, 1995).

Tabela 1: Principais fatores que condicionam a velocidade de penetração da frente de carbonatação.

	Fatores Condicionantes	Características Influenciadas
Condições de Exposição	Concentração de CO ₂	Mecanismo físico-químico Velocidade de Carbonatação
	Umidade Relativa do Ar	Grau de saturação dos Poros Velocidade de Carbonatação
	Temperatura	Velocidade de Carbonatação
Características do Concreto	Composição química do cimento: - Característica do clínquer	Porosidade da pasta carbonatada
	- Teor de adições	Reserva alcalina
	Traço	Porosidade
	Qualidade de execução	
	- Defeitos - Cuidados com a cura	Porosidade Grau de hidratação

Fonte: KAZMIERCZAK, 1995.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Diante da necessidade de preservar a longevidade e integridade das estruturas, faz-se necessário um estudo que correlacione a sua deterioração com o tempo de exposição à

natureza. Para atender tal necessidade, usou-se uma câmara de carbonatação, que é capaz de acelerar o processo natural através do método de carbonatação acelerada.

3.1 Produção dos concretos

Para a produção dos concretos usou-se areia média, brita zero e cimento CPV ARI, e foi feita a caracterização desses por meio das seguintes normas:

- ABNT NBR 9776:1987 – Agregados - “Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman;”
- ABNT NBR NM 45:2006 - Agregados – “Determinação da massa unitária e do volume” de vazios;
- ABNT NBR NM 248:2001 – Agregados – “Determinação da composição granulométrica;”
- ABNT NBR NM 53:2009 – Agregado graúdo – “Determinação da massa específica, massa específica aparente” e absorção de água;
- ABNT NBR NM 23:2000 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.

Através dos ensaios descritos acima, foram obtidos os seguintes dados:

- Massa específica (Kg/dm) do agregado miúdo, agregado graúdo e cimento, respectivamente: 2,63; 2,89 e 3,00;
- Massa unitária compactada (Kg/dm³) do agregado graúdo: 1,59;
- Módulo de Finura – MF (mm) do agregado miúdo: 2,13;
- Dimensão Máxima Característica – DMC (mm) do agregado graúdo: 12,50.

Foram utilizados para os cálculos para elaboração dos traços de concreto uma planilha do Excel com fórmulas do método ACI/ABCP. Onde foi caracterizado materiais para obter traços básico, rico e pobre:

RICO 1:0,83:1,47:0,40

BÁSICO 1:1,39:1,91:0,524

POBRE 1:1,95:2,35:0,65

A produção do concreto foi realizada utilizando materiais e equipamento como areia média, brita zero, cimento CPV ARI, água, balança, betoneira e recipiente metálico. Inicialmente os materiais foram pesados, posteriormente a betoneira e os corpos de prova

foram lavados. Logo após iniciou-se a mistura dos materiais na betoneira. Essa mistura seguiu a seguinte ordem:

- 1° - Adicionou-se a brita e um terço da água e fez-se a mistura;
- 2° - Após adicionou-se o cimento e mais um terço da água e novamente fez-se a mistura;
- 3° - Por último foi adicionado a areia e o restante da água.

Em seguida foram feitos os seguintes procedimentos:

- 1° - Colocou-se o concreto em cada corpo de prova em três camadas com altura aproximadamente igual a um terço da altura do cilindro;
- 2° - Compactou-se cada camada, sendo que foram 25 golpes em cada corpo de prova;
- 3° - Retirou-se excesso de concreto da parte superior do cilindro;

Foram 18 corpos-de-prova, com 100 mm diâmetro e 200mm de altura. Na figura abaixo ilustra os corpos-de-prova.

Figura 3: Corpos de prova.



Fonte: Própria autoria, 2020.

3.2 Câmara de Carbonatação

No laboratório da Cidade Universitária do Grupo Unis, foi disponibilizado uma câmara de carbonatação acelerada. A câmara de carbonatação acelerada trata-se de um vidro temperado de 8mm com dimensões 100x60x65cm.

Na sua estrutura interna há uma prateleira de vidro temperado com dimensões 100x25cm e uma chapa individual de vidro com dimensões 29x39cm. A mesma tem duas aberturas circulares de 11 com de diâmetro cada, onde há um par de luvas de borracha.

A câmara possui dois registros, no primeiro serve de ligação do extintor de incêndio de CO₂ na câmara. na ponta da mangueira que sai do extintor foi colocada um aumento para ser rosqueado a um registro de esfera, foi ligado a um adaptador auto ajustável através de um Nípel Roscável. No segundo registro é ligado um registro de esfera a um adaptador auto ajustável através de um Nípel Roscável.

A pressão e a quantidade de gás bombeado são controladas pelos dois registros de esfera que, abertos instantaneamente, permitem a saída do ar aprisionado na câmara e conseqüentemente a entrada do CO₂.

Para colocação dos corpos de prova há uma abertura lateral de vidro temperado parafusada, onde essa abertura lateral que possui de dimensão de 15x25cm e parafusos de rosca 8mm com porcas fixadas a chapa da parede da câmara. Abaixo seguem fotos da câmara de carbonatação acelerada.

Figura 2: Câmara de Carbonatação



Fonte: Própria autoria, 2020.

3.2.1 Ensaio na câmara de carbonatação

Os 12 corpos-de-prova foram armazenados na câmara dando início ao processo de adição de CO₂, e 6 corpos-de-prova levados ao tanque para hidratação. Todos os corpos-de-prova ficaram por sete dias nos respectivos locais.

3.3 Ensaio de compressão e tração por compressão diametral

A resistência à compressão do concreto é obtida por meio de ensaios de cilindros. A realização dos ensaios segue as normas ABNT NBR 5739:2007 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, para os ensaios de compressão e tração por compressão diametral.

Após os sete dias, os corpos-de-prova que foram para câmara sofreram ensaio de tração por compressão diametral, já os concretos que ficaram no tanque de hidratação sofreram ensaio de compressão.

Na realização do ensaio de compressão, 6 corpos-de-prova foram colocados no cilindro com seu eixo horizontal entre os pratos da prensa, ajustando-a; acionou-se a máquina e mediu-se a carga de ruptura do concreto em tonelada-força. As fotos abaixo ilustram o procedimento do ensaio de compressão.

Figura 3: Corpos de prova sendo rompidos à compressão.



Fonte: Própria autoria.

Na realização do ensaio de tração por compressão diametral, 12 corpos-de-prova foram colocados no cilindro com seu eixo vertical entre os pratos da prensa, ajustando-a;

acionou-se a máquina e mediu-se a carga de ruptura do concreto em tonelada-força. Fotos abaixo ilustram o procedimento do ensaio de tração por compressão diametral.

Figura 4: Corpos de provas sendo rompidos à tração por compressão diametral.



Fonte: Própria autoria, 2020.

Obtiveram-se os resultados dos ensaios de resistências.

3.4 Fenolftaleína

A Fenolftaleína é um indicador composto por $C_{20}H_{14}O_4$ em forma de pó branco que dissolvida em álcool etílico.

A solução usada para detectar a frente carbonatada dos corpos-de-prova foi feita de 70% de álcool etílico, 29% de água destilada e 1% de fenolftaleína.

A fenolftaleína utilizada neste trabalho foi produzida e fornecida pelo próprio funcionário que trabalha no laboratório da cidade universitária do Grupo Unis.

Após rompidos à tração por compressão diametral, colocou-se sobre os 12 corpos-de-prova a solução de fenolftaleína, após 4 horas com auxílio de um paquímetro, houve a medição da profundidade da carbonatação.

Figura 5: Corpos de prova após receber a solução fenolftaleína.



Fonte: Própria autoria, 2020.

4 RESULTADOS

Após realizar todos os procedimentos descritos no presente trabalho, obtiveram-se os resultados dos ensaios de resistências, que estão expressos nas tabelas 2 e 3:

Tabela 2: Resistência dos corpos de provas hidratados rompidos à compressão.

Traço	Compressão (Mpa)	
	Agregados Convencionais	Agregados Reciclados
Rico	44,10	28,87
Básico	22,10	25,56
Pobre	14,84	16,44

Fonte: Própria autoria, 2020.

Tabela 3: Resistência dos corpos-de-prova carbonatados rompidos à tração por compressão diametral.

Traço	Tração por compressão diametral (Mpa)
-------	---------------------------------------

	Agregados Convencionais		Agregados Recicladados	
Rico	10,89	11,01	8,88	10,19
Básico	8,17	9,52	8,59	5,41
Pobre	6,22	9,12	7,43	7,11

Fonte: Própria autoria, 2020.

A tabela 06 apresenta os resultados obtidos através de medição da profundidade média da carbonatação por meio de um paquímetro eletrônico, após 4 horas de aspergir solução de fenolftaleína nos corpos de provas que foram rompidos a tração por compressão diametral.

Tabela 4: Profundidade de Carbonatação.

Traço	Profundidade média (mm) / Seção longitudinal	
	Agregados Convencionais	Agregados Recicladados
Rico	0,88	1,10
	0,93	0,78
Básico	1,13	0,99
	0,94	1,30
Pobre	1,36	1,16
	1,14	1,99

Fonte: Própria autoria, 2020.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, para a análise e comparação dos dados, foi levado em consideração a produção dos concretos com agregados convencionais e agregados reciclados. A tabela abaixo apresenta os resultados obtidos referentes à profundidade da carbonatação entre ambos tipos de concreto.

Tabela 5: Comparativo entre a carbonatação com agregados convencionais e reciclados.

Tipo de Agregado	Traço	Profundidade
Agregado Convencional	Rico	0,91
	Básico	1,04
	Pobre	1,25
Agregado Reciclado	Rico	0,94
	Básico	1,15
	Pobre	1,58

Fonte: Própria autoria.

Em se tratando de vida útil de estruturas de concreto armado, a carbonatação do concreto é um fenômeno importante a ser estudado, por este motivo a comparação entre carbonatação natural e carbonatação acelerada é de extrema relevância para análise de proximidade com a realidade.

Diante dos ensaios concluídos como a definição dos traços do concreto produzido para análise, os ensaios realizados de corpo de prova de concretos feitos com agregados convencionais e ensaios de corpo de prova de concretos feitos com agregados reciclados, para comparação dos resultados.

A profundidade da frente de carbonatação entre os corpos de prova com agregados reciclados foi maior que entre os corpos de prova com agregados convencionais, sendo o traço rico com alteração de 3%, o básico 10,6% e o pobre com 26,4%. Concluindo que a maior diferença na profundidade da frente de carbonatação aconteceu com os traços de concreto pobre.

**CONCRETE CARBONATATION: COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CARBONATION DEPTH IN
CONCRETE WITH CONVENTIONAL AND RECYCLED AGGREGATES**

ABSTRACT

This work analyzes the depth of carbonation in concrete with conventional aggregates and recycled aggregates. The concrete structures are attacked by several pathologies, among these pathologies the corrosion of the reinforcements is highlighted by the phenomenon of the carbonation of the concrete. This article discusses the process of carbonation of concrete by the accelerated method through the carbonation chamber, where tests were carried out in the laboratory in the University City of the Unis Group. The acceleration method through the carbonation chamber is a test that consists of obtaining samples in high concentrations of CO₂ in a chamber. Such an approach is necessary to compare the carbonation depth between concretes with different types of aggregates. For this purpose, 18 specimens were made for the production of concrete, which were introduced for compression tests. 6 specimens and tensile by diametrical compression were 12 specimens. Of these specimens, 12 were placed in the carbonation chamber for direct exposure to CO₂ and the 6 were placed in an H₂O tank for hydration, after breaking the traction by diametrical compression, placed over the 12 bodies of the phenolphthalein solution is tested, after 4 hours with the aid of a caliper, the carbonation depth was measured for the study to be carried out and the data obtained to be analyzed.

Keywords: Concrete. Carbonation. Pathology.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 9776 – **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.** Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. NBR NM 23 – **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2000.

ABNT. NBR NM 248 – **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. NBR NM 45 - **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. NBR NM 53 – **Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.

ANDRADE, C. **Vida útil das estruturas de concreto. In: II Simpósio sobre durabilidade das estruturas de concreto (em conjunto com o 57o Congresso Brasileiro do Concreto).** Bonito/MS, 2015.

BARIN, D. S. **Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento Portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico.** 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CADORE, W. W. **Estudo da carbonatação da camada de cobrimento de protótipos de concreto com altos teores de adições minerais e cal hidratada.** 2008. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CARMONA, T. G. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas a carbonatação.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Ação da carbonatação no concreto.** In: ISAIA, G. E. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1. Ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto. V. 2. 1984p, 2011.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado.** 231 f. 1993, São Paulo. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: Ed. Pini, 1993.

HO, D. W. S.; LEWIS, R. K. **Carbonation of concrete and its prediction**. Cement and Concrete Research. v. 17, p. 489-504, 1987.

KAZMIERCZAK, C. S. **Contribuição para a análise da eficiência de películas aplicadas sobre estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação**. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON. 674 p, 2008.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. São Paulo. PINI, 1997.

POLITO, G. **Principais sistemas de pinturas e suas patologias**. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006. 66 p.

POSSAN, E. **Contribuição ao estudo da carbonatação do concreto com adição de sílica ativa em ambiente natural e acelerado**. 2004. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.