

Análise e estudo da influência da adição de cal no concreto com ar incorporado tendo em vista a redução da frente de carbonatação

Felipe Santos Oliveira (1); Antônio de Paulo Peruzzi (2).

(1) Aluno de Graduação FECIV-UFU; (2) Professor Doutor FECIV-UFU.

Resumo - O sistema parede de concreto é utilizado devido à grande produtividade gerada à obra e ao bom custo benefício. Nesse viés, o uso de concreto com ar incorporado torna-se relevante, pois gera um sistema mais leve e com melhor isolamento térmico e acústico. Contudo, a incorporação de ar afeta a resistência mecânica do concreto armado e pode comprometer a sua durabilidade devido ao processo de carbonatação e a consequente despassivação da armadura. Em vista disso, este projeto propôs estudar a influência da adição de cal hidratada ao concreto com ar incorporado, haja vista que, ao se adicionar a cal hidratada ao concreto (sem alterar a relação água:cimento ou a proporção aglomerante:agregado), é possível dotar a mistura de uma “reserva alcalina”, visto que o teor CO_2 presente no meio irá reagir com a cal hidratada ao invés da Portlandita que é a responsável por manter o composto com pH elevado, e produzirá CaCO_3 . Uma maior quantidade de CaCO_3 possibilita a colmatação dos poros mais externos com maior intensidade, resultando na redução da difusibilidade dos fluidos e na redução da intensidade do avanço da frente de carbonatação, aumentando, assim, a vida útil do concreto armado. Para este estudo, foram moldados corpos de prova (CP's) cilíndricos de 5 x 10cm para análise de carbonatação e determinação da massa específica, e CP's de 10 x 20cm para análise de compressão axial. A partir da amostra de Referência (REF) composta por brita 0, areia, cimento CPV ARI, 1:2:2:0,58 (cimento, areia, brita, água/cimento), foram moldadas amostras com uso de aditivo incorporador de ar (Iar) em teor de 0,5% e adição de cal hidratada em proporções de 0%, 1%, 2% e 3% sobre a massa do aglomerante, em substituição do agregado. Esse trabalho visa reproduzir os ensaios e a metodologia de carbonatação acelerada realizados por Resende (2019) e comparar os resultados, já que os dados obtidos por ele acerca da eficiência da adição de cal hidratada à formulação do concreto se mostraram inconclusivos.

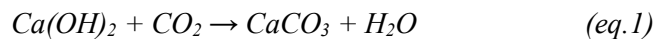
Palavras-Chave: *Concreto com ar incorporado, carbonatação, durabilidade.*

1 INTRODUÇÃO

A grande demanda por habitações de interesse social forçou o mercado a investir nos chamados sistemas inovadores, que apresentam processos construtivos racionalizados, que buscam um menor consumo de mão de obra e otimização do tempo de execução através do aumento do uso de produtos e processos industrializados (CBIC, 2013). Um dos sistemas considerados inovadores e largamente utilizado em edificações de apelo social é o composto por paredes monolíticas de concreto moldado no local. A aplicação dessa técnica gera um custo inicial elevado, porém o investimento é compensado quando as vantagens são analisadas (PONZONI, 2013).

O sistema construtivo de paredes de concreto oferece produtividade, economia e qualidade quando o problema é a redução do déficit habitacional (MISURELLI E MASSUDA, 2009) e, nele, o uso de concreto com ar incorporado nas paredes representa uma maior trabalhabilidade no estado fresco, menor peso específico e melhor isolamento térmico e acústico, com um alto volume de ar incorporado (KIM et al., 2012). Porém, a incorporação de ar e a respectiva redução da massa específica, representa uma redução das propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido, que deve ser contornada na ocasião do projeto. Embora diversos autores afirmem que, pelo fato das bolhas incorporadas intencionalmente por aditivo serem esféricas e isoladas entre si, sem estarem conectadas (NEVILLE, 2016) não representem riscos à durabilidade do concreto armado, por outro lado, estudos recentes desenvolvidos têm evidenciado o contrário (PERUZZI et al., 2019), pois devido ao maior número de vazios que podem se conectar por meio da coalescência entre as bolhas (BHATTACHARJEE; KRISHNAMOORTHY, 2004) a difusão de agentes deletérios fica potencializada.

A carbonatação é um processo de reação do CO₂, o anidrido carbônico, com produtos gerados após a hidratação do cimento, principalmente a Portlandita [Ca(OH)₂], principal composto responsável pela alta alcalinidade do concreto que garante a condição de “passivação da armadura” (MIRANDA et al., 1990). Assim, a reação resultante da carbonatação reduz os compostos responsáveis pela condição de alcalinidade do meio, diminuindo o seu pH, e comprometendo a durabilidade da estrutura de concreto armado. A reação mais simples e importante de carbonatação é a combinação com a Portlandita produzida na hidratação do cimento que, ao entrar em contato com o CO₂, reage formando o carbonato de cálcio (CaCO₃), (PAPADAKIS; VAYENAS; FARDIS, 1991) eq. 1.



Trata-se de uma reação lenta, mas constante. Ela começa do exterior do concreto e caminha para seu interior, com maior intensidade quanto maior for a porosidade e, em concreto de mediana qualidade observa-se que a velocidade da carbonatação varia entre 1mm e 3mm por ano (SILVA,1995). A velocidade do processo é função da difusão de CO₂ no concreto, umidade relativa, relação a/c, tipo de cimento, permeabilidade do concreto e cura. O grau de carbonatação máximo ocorre a uma umidade relativa de 60%, enquanto que em um ambiente seco ou saturado a carbonatação é reduzida para 20% deste valor (LAPA, 2008).

O processo da carbonatação é iniciado primeiramente na superfície do concreto, formando a “frente de carbonatação”, e vai adentrando para o interior até chegar 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, ocasionando a corrosão das barras da armadura, podendo até mesmo haver um colapso de toda a estrutura de concreto. Os danos causados são vários, como fissuração do concreto, destacamento do revestimento do aço, redução da seção da armadura e perda de aderência desta com o concreto (CALAZANS, 2013).

A cal é um aglomerante inorgânico ou mineral, isto é, com constituintes minerais que, para sua aplicação, apresenta-se sob forma pulverulenta; em mistura com a água, forma uma pasta com propriedades aglutinantes, como resultado da reação com o anidrido carbônico presente na atmosfera (ABNT NBR 11172: 1990). Ela pode ser comprada facilmente em sacos de 20kg, já hidratada, e pronta para o uso.

A hipótese desse trabalho é que, ao se adicionar a cal hidratada ao concreto armado (sem alterar a relação água:cimento ou a proporção aglomerante:agregado) é possível dotar a mistura de uma “reserva alcalina” que irá induzir um processo de carbonatação mais intenso, com a formação de uma maior quantidade de CaCO_3 . Visto que, a cal hidratada irá reagir com CO_2 , deixando livre no composto a Portlandita, garantindo assim a alcalinidade do meio e além disso, o produto gerado na reação atuará na colmatação dos poros mais externos e reduzirá a difusibilidade dos fluidos, gerando assim a passivação da armadura e a redução do avanço da frente de carbonatação para o interior do concreto.

Devido ao fato da carbonatação natural ser um processo de reação muito lento, habitualmente usa-se a câmara de carbonatação acelerada em pesquisas, que consiste em expor os corpos de prova ao gás carbônico em elevada concentração. A opção de usar o processo acelerado e a câmara de carbonatação saturada é baseada no fato de que uma alta concentração de CO_2 não altera o processo de carbonatação, uma vez que a carbonatação ocorre instantaneamente, o único efeito da alta concentração de CO_2 é um transporte mais rápido das moléculas de CO_2 para a interface solução poro-ar-poro e, portanto, um processo de reação mais rápido (VISSER, 2013). Ressalte-se que, no Brasil, ainda não existe um ensaio de carbonatação acelerada que seja normatizado pela ABNT, então as pesquisas em andamento sobre o assunto usam os ensaios provenientes de estudos realizadas por diversos autores. As amostras, após submetidas à câmara de carbonatação por T dias, são rompidas e, então, é borrifada uma solução de indicador de pH (fenolftaleína) e determinada linearmente, em milímetros, a profundidade carbonatada, com o uso de paquímetro. Para a indicação da profundidade de carbonatação pode-se utilizar como indicador de pH outras soluções como a timolftaleína e o amarelo de alizarina, porém este trabalho optou pelo uso de fenolftaleína que é capaz de detectar pH inferiores, como visto na Tabela 1. Além disso, de um modo geral, a fenolftaleína é o indicador de pH mais empregado no meio científico devido à facilidade de uso, rapidez na realização do ensaio, custo baixo e precisão relativamente boa (SILVA, 2007).

Tabela 1: Principais indicadores de pH utilizados para determinar a profundidade de carbonatação.

| AMOSTRA | Intervalo de mudança de cor |
|-------------------------|--|
| Fenolftaleína | Incolor – vermelho camim pH 8,0 – 9,8 |
| Timolftaleína | Incolor – azul pH 9,3 – 10,5 |
| Amarelo de alizarina GG | Amarelo claro – amarelo escuro pH 10,0 – 12,0 |
| Amarelo de alizarina R | Amarelo – vermelho alaranjado pH 10,1 – 12,0 |

Fonte: Silva (2007)

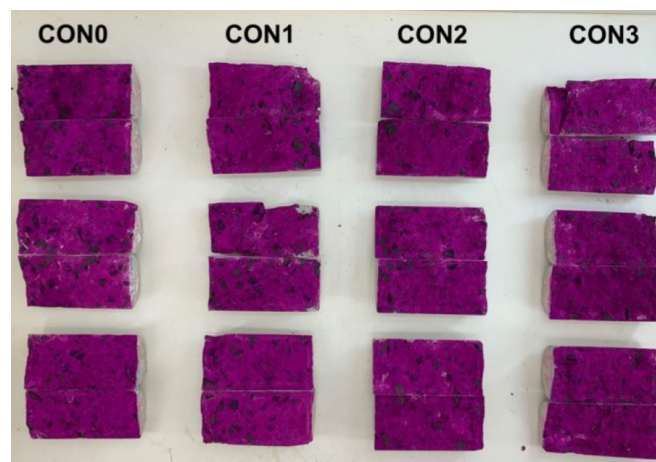
Em pesquisa anterior a esse trabalho, desenvolvida na Universidade Federal de Uberlândia, por Resende (2019) estudou-se a adição de cal aos concretos como forma de mitigar profundidade da frente de carbonatação das amostras, em câmara de carbonatação acelerada, considerando que ela estivesse saturada de CO₂, uma vez o equipamento não possuía dispositivo de controle de concentração. A Tabela 2 traz os resultados dos ensaios de caracterização das amostras estudadas por Resende (2019) e a Figura 1 uma fotografia das amostras rompidas à compressão diametral, após 7 dias em câmara de carbonatação, e aspergidas com o indicador fenolftaleína.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de massa específica (ρ), absorção, índice de vazios e resistência à compressão (F_{ck}) obtidos por Resende (2019).

| AMOSTRA | Massa Específica (g/cm ³) | | Absorção (%) | Índice de Vazios (%) | Fck (MPa) |
|---------|---------------------------------------|------------|--------------|----------------------|-----------|
| | Fresco | Endurecido | | | |
| CON0 | 2,30 | 2,13 | 8,45 | 18,7 | 19,97 |
| CON1 | 2,22 | 2,13 | 8,71 | 20,2 | 18,52 |
| CON2 | 2,22 | 2,04 | 8,98 | 18,4 | 18,87 |
| CON3 | 2,19 | 2,09 | 9,05 | 17,9 | 17,66 |

Fonte: Resende (2019)

Figura 1 – Amostras obtidas por Resende (2019) após 7 dias de carbonatação. CON0 sem adição de cal, CON1, CON2 e CON3 com 1%, 2% e 3% de cal, respectivamente.



Fonte: Resende (2019)

Os resultados acerca da eficiência da adição de cal hidratada à formulação do concreto se mostraram inconclusivos, visto que as amostras que não tinham a cal em sua composição também não carbonataram. Assim, Resende (2019) elencou algumas hipóteses que poderiam ter influenciado o resultado final da pesquisa, relacionadas ao desenvolvimento dela, tais como: 1) o teor de umidade interno da câmara de carbonatação girou em torno de 70%, quando o ideal era 60%; 2) ausência de um sensor de concentração de CO₂ e 3) tempo de exposição maiores (14d, 21d e 28d).

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo reproduzir a metodologia aplicada por Resende (2019) no ensaio de carbonatação dos corpos de prova de concreto com aditivo incorporador de ar e cal, avaliando a profundidade da frente de carbonatação nos compósitos. Porém, diferenciará no percentual de umidade dos CP's inseridos na câmara, visto que, no ensaio de Resende (2019) os CP's possuíam 35% de Umidade e neste estudo eles possuem 25%, afetando assim a UR dentro da câmara. A mudança desse parâmetro é necessária para o completo entendimento das causas que levaram à não formação da frente de carbonatação nas amostras, e, também, para possível solução do problema. Ademais, as amostras foram submetidas a exposição por um período de 7 dias na câmara de carbonatação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O tipo de Cimento Portland adotado foi o CPV-ARI, com massa específica 3,14g/m³ e Fc₂₈ 39MPa, segundo ABNT NBR 7215:1997; areia quartzosa fina com massa específica 2,43g/m³ segundo ABNT NM 52:2009 e MF 1,70, segundo ABNT NBR 7217:1987 e brita 0 (basáltica), com massa específica no estado seco 2,71g/cm³ e massa unitária 1,54 g/cm³, segundo ABNT NM 53:2009. A cal empregada foi do tipo CH-I. O aditivo incorporador de ar (Iar) adotado foi o MicroAir FC, da Basf. A quantidade de aditivo utilizada foi de 0,5% sobre a massa do cimento.

2.2 Métodos

2.2.1 Formulação do Concreto e confecção das amostras

O traço do concreto de referência (REF) utilizado foi de 1:2:2:0,58 (cimento, areia fina, brita, água/cimento) e, para as amostras que receberam aditivo incorporador de ar, o valor adicionado foi de 0,5% em relação à massa de cimento. Então, a quantidade de cal variou em 0%, 1%, 2% e 3% (sobre a massa de cimento), originando as amostras CON0, CON1, CON2 e CON3 e, para garantir que a relação a/c e o consumo de cimento fossem mantidos, descontada da massa de areia fina.

A Tabela 3 traz a quantidade de amostras utilizadas em cada tipo de ensaio realizado no estado fresco, com as respectivas normas de referência.

Tabela 3: Tipos de ensaios, normas de referência e número de amostras a serem estudadas.

| Ensaio | Norma de Referência | Número de amostras por traço |
|--|---|------------------------------|
| Consistência no abatimento no tronco de cone | NBR NM 67:1998 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone | 1 |
| Massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado | NBR 9833:2008 Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico | 1 |

Fonte: Autor (2019)

A Tabela 4 traz a quantidade de amostras utilizadas em cada tipo de ensaio realizado no estado endurecido e as respectivas normas de referência.

Tabela 4: Tipos de ensaios, normas de referência e número de amostras a serem estudadas no estado endurecido.

| Ensaio | Norma de Referência | Número de amostras por traço |
|------------------------------|--|------------------------------|
| Compressão axial | NBR 5739:2007 Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos | 4 |
| Massa específica | NBR 9779:2005 Argamassa e concreto endurecidos - | 3 |
| Índice de vazios | Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e | 3 |
| Absorção de água por imersão | massa específica | 3 |
| Carbonatação Acelerada | RILEM CPC-18 - Measurement of hardened concrete carbonation depth (adaptada) | 3 |

Fonte: Autor (2019)

Os concretos foram confeccionados na mesma betoneira de eixo inclinado, com capacidade de 250 litros, seguindo o mesmo padrão de mistura: 1º) parte de água e o cimento, misturados até a formação de uma pasta homogênea; 2º) agregado graúdo; 3º) agregado miúdo e o restante da água, e 4º) procedeu-se a homogeneização total do concreto. No caso dos concretos que receberam adição de cal, esta foi adicionada posteriormente a mistura completa de todos os outros elementos, ou seja, a cal foi adicionada sobre o concreto de referência, em todos os casos. Após obter a mistura acima adicionou-se o aditivo Iar e procedeu-se uma nova homogeneização em betoneira por 2 minutos. Destaque-se o controle de tempo de homogeneização após a adição do Iar é um fator determinante para limitar a quantidade de ar incorporado e a coalescência entre as bolhas incorporadas.

2.2.2 Preparo da Câmara de Carbonatação

A câmara usada é de acrílico, com suportes internos no qual os corpos de prova são colocados na posição horizontal, com o menor número de pontos de contato possível, garantindo-se a homogeneidade do CO₂ em contato com cada CP. A circulação do gás CO₂ é garantida por meio de ventoinhas com posicionamento fixo, gerando um fluxo de ar que garante a movimentação eficiente do gás em toda a câmara. A umidade interna na câmara é realizada por meio de do aparelho Datalogger SH77X, que tem seu sensor instalado no interior do sistema, na parte superior. As Figuras 2a e 2b ilustram a câmara usada.

Figura 2 – Câmara de Carbonatação usada na pesquisa.

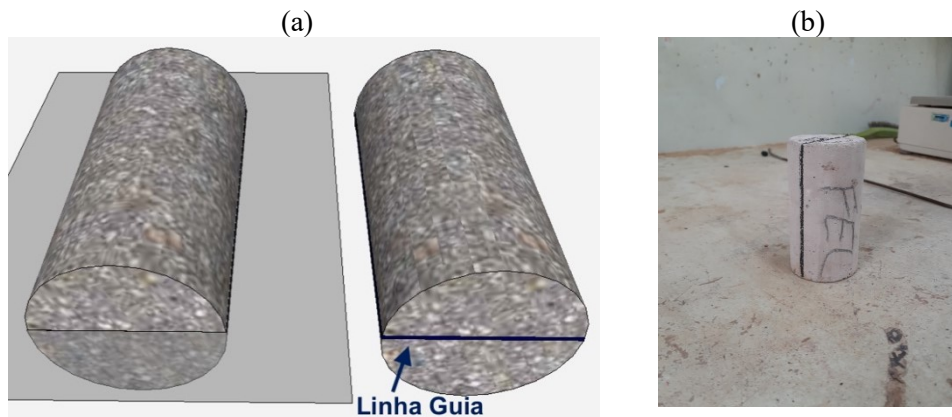


Fonte: Autor (2019)

2.2.3 Parâmetros do Ensaio

Após os 7 dias na câmara os corpos de prova foram rompidos diametralmente e a profundidade de carbonatação foi medida. Todos os corpos de prova receberam o desenho de uma linha guia, determinando um plano de corte, como mostrado na Figuras 3 (a) e (b).

Figura 3 – Ilustração esquemática da linha guia e plano de corte dos CP's.



Fonte: (a) Resende (2019); (b) Autor (2019)

A linha guia tem a função de padronizar o posicionamento dos corpos de prova dentro da câmara, proporcionando uma comparação mais adequada dos CP's, pois gera igualdade do sentido de rompimento e implica em dados mais coesos sobre a profundidade de carbonatação, conforme Figura 4.

Figura 4 - Posicionamento dos CP's na câmara de carbonatação.



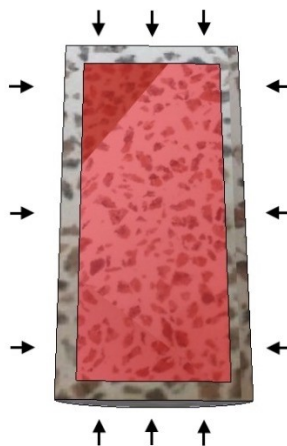
Fonte: Autor (2019)

Para garantir que o parâmetro de umidade relativa (UR) no interior da câmara estivesse próximo de 60% foram introduzidos os CP's na câmara de carbonatação com teor de umidade (TU) de 25%. Sendo que, este valor de TU foi determinado através de testes dentro da câmara com outras amostras durante a pesquisa.

2.2.4 Medição da Frente de Carbonatação

Para a medição da frente de carbonatação padronizou-se um sentido pré-determinado pela linha guia, rompendo-se assim diametralmente todos os corpos de prova seguindo tal sentido. Após a ruptura dos CP's aspergiu-se em ambas faces uma solução de 1% fenolftaleína em 70% de álcool etílico, que tem a função de indicador de pH (RILEM CPC 18), se mantém incolor em soluções ácidas e torna-se cor-de-rosa ou roxo em soluções básicas, ou seja, a parte carbonatada do concreto ficará incolor e a parte não carbonatada com tom cor-de-rosa ou roxo. A RILEM CPC 18 estabelece que seja feita somente uma medida por lado, salvo exceções nas quais não se apresente uma linha constante de carbonatação. Este estudou realizou três medições por lado (topo, base, lado direito e esquerdo) em cada face, obtendo-se assim resultados mais abrangentes: nas faces superior e inferior (base e topo) uma medida foi feita no centro, e duas à 1cm das bordas; nas faces laterais (lado direito e esquerdo) uma medida central e outras duas à 2cm das extremidades, conforme Figura 5.

Figura 5 - Esquema de medição da frente de carbonatação



Fonte: Autor (2019)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 5 engloba os resultados obtidos durante esta pesquisa para os ensaios de massa específica, absorção de água, índice de vazios, resistência à compressão e eficiência.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de massa específica (ρ), absorção, índice de vazios e resistência à compressão (F_{ck}).

| AMOSTRA | Massa Específica (g/cm^3) | | Absorção (%) | Índice de Vazios (%) | Fck (MPa) |
|---------|-------------------------------|------------|--------------|----------------------|-----------|
| | Fresco | Endurecido | | | |
| REF | 2,35 | 2,27 | 8,51 | 19,78 | 26,22 |
| CON0 | 2,19 | 2,07 | 9,01 | 17,25 | 14,36 |
| CON1 | 2,14 | 2,02 | 8,91 | 18,02 | 16,22 |
| CON2 | 2,07 | 1,92 | 9,00 | 16,86 | 15,31 |
| CON3 | 2,15 | 2,04 | 9,06 | 18,89 | 18,57 |

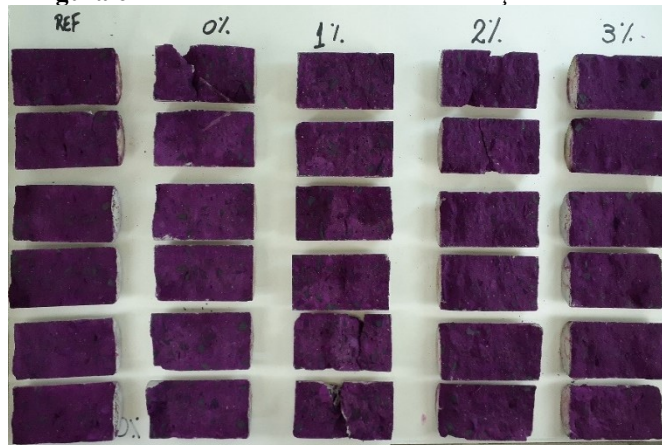
Fonte: Autor (2019)

Para melhor entendimento: REF (Sem aditivo Iar e sem cal); CON0 (com aditivo Iar e sem cal), CON1 (com aditivo Iar e 1% de Cal), CON2 (com aditivo Iar e 2% de Cal), CON3 (com aditivo Iar e 3% de Cal).

Os dados da Tabela 4 evidenciam que a adição de cal exerceu pouca influência sobre as propriedades mecânicas e físicas do concreto, mas se comparados aos resultados obtidos por Resende (2019), é possível notar pequenas variações, com destaque para a massa específica e a resistência a compressão que apresentaram maiores diferenças, embora que os procedimentos de mistura, moldagem, cura e ruptura tenham sido os mesmos de Resende (2019), porém, a priori, essa diferença não invalida a comparação entre as duas pesquisas.

Após ensaiados à compressão diametral e tendo suas faces aspergidas pela solução de fenolftaleína, obteve-se os resultados de carbonatação tal como visto nas Figura 6.

Figura 6 - Resultados do teste de carbonatação acelerada.



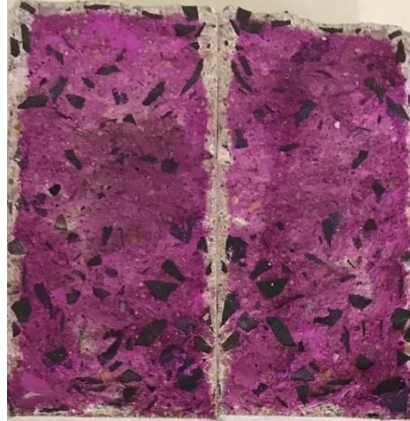
Fonte: Autor (2019)

A partir da análise dos corpos de prova aspergidos pelo indicador foi possível notar que o resultado de Resende (2019) se repetiu, ou seja, a frente de carbonatação para todas as amostras não pôde ser verificada a olho nu ou medida pelo paquímetro, daí não serem registradas suas medidas.

Devido a esse resultado, uma suspeita acerca da eficiência da câmara em realizar o processo de carbonatação acelerada poderia ser levantada, porém em um estudo feito por Peruzzi et. al. (2019), usando os mesmos materiais, equipamentos e câmara de carbonatação em mesmas condições, mas com traço de concreto 1:2.5:2:0.58 (cimento, areia média, brita, água/cimento), enquanto que na presente pesquisa foi 1:2:2:0,58 (cimento, areia média, brita, água/cimento) e mesmos 0,5% de Iar para ambas pesquisas,

obteve-se $\rho = 2,09 \text{ g/cm}^3$, 16,7% de vazios e f_{ck} de 18.9MPa, ou seja, valores compatíveis com o atual estudo. Contudo, após aspergido o indicador de pH, o trabalho de Peruzzi et. al. (2019) apresentou profundidade da frente de carbonatação, sendo o valor médio obtido de 3,2mm para 7 dias de exposição (Figura 7), enquanto que neste trabalho as amostras não carbonataram, contrapondo-se assim, tal hipótese.

Figura 7 – Exemplo de corpo de prova do estudo de Peruzzi et. al. (2019) mostrando a profundidade da frente de carbonatação após 7 dias em câmara.



Fonte: Peruzzi (2019)

Ademais, nos ensaios de carbonatação acelerada realizados por Resende (2019), os CP's foram inseridos na câmara com TU médio de 35%, o que representou uma umidade média no interior da câmara em torno de 67%, enquanto que nesta pesquisa os CP's foram inseridos na câmara com TU médio de 25% ao fim do ensaio uma UR de 58%, e em ambas pesquisas os corpos de prova repetiram o mesmo padrão, isto é, não apresentaram uma profundidade de frente de carbonatação relevante. Assim, a premissa levantada por Resende (2019) de que a UR possa ter sido um erro experimental causador da baixa profundidade de carbonatação não foi comprovada.

4 CONCLUSÃO

Por meio deste estudo nota-se que a adição de cal exerceu pouca influência sobre as propriedades mecânicas e físicas do concreto, mas relevante quanto à carbonatação. Além disso, com esta pesquisa foi possível determinar o Teor de Umidade (TU) adequado para a inserção dos corpos de prova, com valor de 25%, que gerou ao sistema uma Umidade Relativa (UR) de 58% valor próximo ao ideal (60%) conforme estudos anteriores realizados na Universidade Federal de Uberlândia, mostrando-se assim, um avanço na análise deste assunto, mesmo com a não carbonatação dos corpos de prova.

Inicialmente, poder-se-ia inferir que a não carbonatação dos CP's do estudo estaria relacionado com a efetividade da ação da cal nas amostras por meio da colmatação dos vazios externos pelo CaCO_3 , porém as amostras REF (sem adição de cal e sem aditivo Iar) e CON0 (sem adição de cal, com Iar) apresentaram o mesmo desempenho, ponde em xeque, então, essa premissa.

Portanto, a presente pesquisa deve ser continuada buscando-se obter o completo entendimento acerca dos resultados obtidos aqui, e para isso será necessário o uso de outros parâmetros no controle e execução dos ensaios, tais como: uso de sensor de concentração de CO_2 na câmara; exposição dos corpos de prova na câmara por períodos maiores, como 14,21 e 28 dias; análise microestrutural das amostras carbonatadas

para identificação da estrutura dos poros e da composição química dos produtos gerados; realizar a cura das amostras em água saturada de cal; e uso de câmara de carbonatação de outra instituição para a comprovação dos resultados obtidos aqui.

Além disso, é importante também avaliar outros processos químicos que podem ser gerados ou intensificados com a adição da cal hidratada [Ca(OH)₂] nesse tipo de concreto decorrentes das novas reações químicas, produtos gerados e condições do meio modificados, tais como reação álcali-agregado, lixiviação e expansão por formação de sulfatos, visto que podem gerar outras patologias no meio e prejudicar o desempenho do sistema de paredes de concreto armado.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 53: **Agregado graúdo: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, Brasil, 1998

_____. NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, Brasil, 1994.

_____. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 7217: **Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio**. Rio de Janeiro 1987.

_____. NBR 9833: **Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 9779: **Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação Da Absorção de Água Por Capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 11172: **Aglomerantes de origem mineral Terminologia**. Rio de Janeiro, 1990.

BHATTACHARJEE, B., AND KRISHNAMOORTHY, S. 2004. **Permeable Porosity and Thermal Conductivity of Construction Materials**. *J. Mat. Civil. Eng.* 10 (1061):322-30.

CALAZANS, R. **Carbonatação do Concreto**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAej7UAK/carbonatacao-concreto>> Acesso 14 Dez 2019.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de Edificações Habitacionais guia orientativo para atendimento à norma ABNT 15575/2013**. Brasília, 2013.

Kim, H. K.; Jeon, J. H.; Lee, H. K. **Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air**. Department of Civil and Environmental Engineering, Korea, South Korea. *Construction and Building Materials*, v.29, p. 193-200, 2012.

- LAPA, J.S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Belo horizonte, 2008.
- MIRANDA, T. R. V et al. **Utilização de nitrito de sódio como inibidor do processo corrosivo de armaduras**. In: SEMINÁRIO DE CORROSÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., Rio de Janeiro, 1990. Anais. Rio de Janeiro, ABRACO, 1990. p. 94-109.
- MISSURELLI H. e MASSUDA, C. **Como construir paredes de concreto**. Revista Técnica. Edição 147.2009.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Porto Alegre - RS: Bookman, 2016.
- PAPADAKIS, V. G.; VAYENAS, C. G.; FARDIS, M. N. **Fundamental Modeling and Experimental Investigation of Concrete Carbonation**. ACI Materials Journal, v. 88, n. 4, p. 363-373, 1991.
- PERUZZI, A. P.; BARBAR, J. S.; SANTOS, A.C.; FRANÇA, D. S.; ALMEIDA, L.N. **Influence of the variation of the sand in the formation of the air bubbles concretes with air-entraining additive and in the its carbonation**. European International Journal of Science and Technology. Vol. 8. No. 10. 2019.
- POLITO, G., et al. **Análise microestrutural da interface entre argamassas de revestimento sobre blocos cerâmicos**. 50º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo-SP, IBRACON, 2008.
- PONZONI, Jéssica. **Paredes de concreto moldadas in loco: verificação do atendimento às recomendações da norma NBR 16055/2012 nos procedimentos executivos em obra de edifício residencial**. Trabalho de conclusão de curso (Curso superior de Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- RESENDE, M. B. **Adição de cal aos concretos com ar incorporado visando a redução da frente de carbonatação**. Tese de Conclusão de Curso. Uberlândia, 2019.
- REUNION INTERNATIONALE DE LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX. CPC-18: **Measurement of hardened concrete carbonation depth**. RILEM Recommendations CPC-18. Materials and Structures, [s. n.], p. 453-455, 1988.
- SILVA, PAULO FERNANDO A.. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. 1º ed. São Paulo: Editora Pini – Serrana, 1995 152p.
- SILVA, V.M. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida**. 2007. Tese (Doutorado). Universidade de São Carlos, São Carlos, 2007.
- VISSER, J.H.M. **Influence of the carbon dioxide concentration on the resistance to carbonation of concrete**. Construction and Building Materials. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.005>> Acesso 14 Dez 2019.