

CONSTRUÇÃO DE CÂMARA DE CARBONATAÇÃO: ALTERNATIVA PARA CONSTRUÇÃO DE SABERES NO CURSO DE ENGENHARIA

Cleidson Carneiro Guimarães – cleidsonguimaraes@gmail.com

Vinícius Almeida Coelho – mrvoelho@gmail.com

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB

Av. Rui Barbosa, 710

44380-000 - Cruz das Almas - Bahia

Resumo: Vivencia-se uma realidade marcada pela acelerada inovação tecnológica. Essas mudanças exigem novas competências dos profissionais de Engenharia que, por sua vez, tencionam discussão na formação dos profissionais de Engenharia, seja no âmbito do currículo, formação docente ou das metodologias de ensino-aprendizagem utilizadas atualmente. Frequentemente, as metodologias usadas nas instituições de ensino superior são baseadas unicamente em aulas expositivas. Não há consenso quanto a melhor alternativa de superar as grandes diferenças entre as necessidades do mundo real e as metodologias empregadas, já criticadas por Paulo Freire, desde 1989. Uma alternativa promissora é empregar metodologias em que os aprendizes atuam ativamente na construção do saber, tal qual na aprendizagem baseada em problemas. A experimentação problematizadora pode ser uma alternativa que auxilie o docente a superar os desafios impostos pelos dias atuais. Nessa perspectiva, propõe-se a construção de uma câmara de carbonatação acelerada utilizando materiais de baixo custo. A verificação da eficiência da câmara consistiu em comparar a frente de carbonatação de corpos de prova de argamassa, traços 1:3 e 1:6, submetidos à carbonatação na câmara e nas condições atmosféricas. Os resultados demonstraram a eficiência da câmara em acelerar o avanço da frente de carbonatação. Além disso, evidenciou potencialidade de utilização para ensinar significativamente conceitos de materiais cimentícios.

Palavras-chave: Construção ativa de saberes. Mediação docente. Carbonatação. Aprendizagem por meio de problemas.

1 INTRODUÇÃO

Para Paulo Freire (1989), o ser humano não começa a aprendizagem de leitura com a escola. A capacidade de leitura da nossa espécie começa pelo mundo e deve se estender para a escola. Nessa perspectiva, não é preciso ter vivido muitas décadas para que as leituras de mundo demonstrem as inovações tecnológicas intensas e, por vezes, inimagináveis. Mas será que o Ensino, nas Universidades, acompanhou, no mesmo ritmo, as inovações tecnológicas do mundo de trabalho da Engenharia?

Essa é uma pergunta difícil de responder por meio de números, principalmente no Brasil. Entretanto, as leituras de mundo, de quem vivencia o contexto universitário do Ensino de Engenharia no Brasil, aponta a leitura de predominância do ensino baseado apenas na aula

expositiva. O papel do estudante é, passivamente, memorizar e responder uma avaliação. A aula expositiva, como única ferramenta de ensino, foi criticada por Freire (1996) e por ele denominada de pedagogia bancária. É importante colocar um contraponto. Não é a mera crítica à aula expositiva, afinal essa estratégia pedagógica é importante para o docente retomar pontos pendentes, relacionar aspectos da teoria com experiências vividas pelos aprendizes... a crítica reside no emprego da aula expositiva como a principal (e muitas vezes única) estratégia didática para formar engenheiros capazes de atender as demandas sociais atuais.

Goldberg (2017) aponta que habilidades básicas ao exercício profissional da Engenharia, são pouco desenvolvidas nos cursos de graduação. Os estudantes, destaca o autor, têm dificuldade de: fazer perguntas convincentes quando estão diante de uma situação real; nomear objetos tecnológicos em seus projetos; modelar qualitativamente o problema, frequentemente sabem efetuar cálculos, mas não criar um modelo que resolva o problema real do seu campo de atuação; tem dificuldade de decompor problemas maiores em outros menos complexos, coletar dados, visualizar soluções e comunicar tais soluções por meio da expressão escrita e oral.

Em perspectiva similar, a nova Proposta de Diretrizes Curriculares Nacionais para o Curso de Engenharia, sugerida pela Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE, 2018), propõe o ensino aprendizagem baseado em nove competências básicas que, em linhas gerais, apontam a construção curricular baseado em competências para superar alguns problemas de formação supracitados. O Goldberg (2017) destaca que a reforma curricular é fundamental, entretanto, apenas ela não é suficiente para mudar a realidade do Ensino de Engenharia.

Dias (2015) adverte que, os docentes, mesmo quando recebem capacitação para atender novas diretrizes, apresentam dificuldades na utilização de estratégias didáticas inovadoras. A superação do paradigma vigente exige participação da instituição com planos de formação e atualização continuada dos professores.

Inserir metodologias inovadoras de ensino -aprendizagem perpassa pela capacidade, dos atores do processo, de formular perguntas. Para Bachelard (1996), em primeiro lugar, é preciso saber formular perguntas. Para o espírito científico, todo conhecimento consiste numa resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico.

Só há metodologia de ensino inovador se há conversão de ensino em aprendizagem significativa pelo aprendiz. Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980) a aprendizagem significativa é um processo de construção cognitiva do saber ao qual novas informações interagem com conhecimentos já adquiridos pelo aprendiz. É um processo de interação entre o que o estudante está aprendendo e o que ele já sabe, ao qual Ausubel, Novak e Hanesian (1980) denominam de subsunçores. Portanto, estratégias pedagógicas que se pretendem significativas precisam aliar o que o aluno já sabe, ao que está aprendendo. O professor tem o papel de coletar informações sobre o que os aprendizes já sabem para planejar ações o que pretende ensinar ao que o aluno já sabe. Vivenciar uma situação de um problema real com os discentes é uma situação profícua para perceber o que os alunos já sabem, suas dúvidas e distorções conceituais. Essa percepção permite o planejamento de metodologias potencialmente significativas.

Mas como empreender metodologias inovadoras para garantir aprendizagem significativa? Essa pergunta não tem uma resposta simples e singular a cada situação. Entretanto, pode-se apontar caminhos que podem facilitar a construção dessa resposta pelo educador inquieto a mudar o contexto do Ensino de Engenharia.

Pinto *et al.* (2015), Barbosa e Moura (2017) apontam as metodologias ativas tais como as aprendizagens baseadas em problemas e a aprendizagem baseada em projetos como alternativas que podem facilitar a aprendizagem significativas no ensino de Engenharia.

Destaca-se o entendimento de aprendizagem ativa como sendo aquela que é capaz de mobilizar os conceitos subsunçores do aprendiz e construir ancoragens entre o velho e o novo. Pensando nesse desafio, propõe-se a construção de uma câmara de carbonatação empregando materiais de baixo custo.

Cabe destacar que a experimentação pode ter diferentes papéis, tais como demonstrar um princípio, desenvolver atividades práticas, testar uma hipótese ou empregá-la como investigação (IZQUIERDO e COLS, 1999). Contudo, destacam Guimarães (2009) e Castrillón, Camacho e Castro (2016), é por meio da utilização da experimentação como estratégia de investigação que há maior colaboração no processo ativo de construção significativa do saber. Por vezes, quando o experimento não funciona é que reside a maior potencialidade de construção do saber. Mas, para que isso ocorra, é fundamental a mediação docente instigando os aprendizes a se questionarem o que deu errado. Estimular a formular hipóteses e testá-las.

Nesse contexto, se inere a construção da câmara de carbonatação como alternativa experimental para a construção significativa de conceitos nas disciplinas de Patologia e Materiais de construção.

A carbonatação é um mecanismo preponderante na degradação do concreto armado no que diz respeito à integridade das armaduras quanto à corrosão, sendo um fenômeno físico-químico governado não apenas pelas propriedades do material, mas também por variáveis ambientais cíclicas e imprevisíveis.

O principal efeito da carbonatação é a redução do pH da solução aquosa dos poros da pasta de cimento endurecida de valores entre 12,6 e 13,5 (NEVILLE, 2016) para valores inferiores a 9 através da deposição de carbonatos. Tal condição compromete, em concretos e argamassas armadas, a película passivadora que envolve as superfícies das armaduras e as protege da corrosão, uma vez que sua formação e estabilidade dependem dos altos níveis de pH do meio que a circunda (BRANCO, PAULO e GARRIDO, 2013).

É através da difusão gasosa que ocorre a penetração dos gases atmosféricos nos poros do material, sendo a principal reação de carbonatação aquela entre o hidróxido de cálcio da pasta de cimento endurecida (resultante do processo de hidratação do Cimento Portland) e o gás carbônico, produzindo carbonatos menos solúveis que precipitam nos poros do material levando à redução do pH da matriz cimentícia.

A maior parte dos casos de deterioração do concreto armado, ligados à corrosão da armadura, está associado ao ataque de cloretos ou gás carbônico, sendo esta última a predominante nos ambientes urbanos (PAPADAKIS; VAYENAS; FARDIS, 1991), onde, em grandes cidades, a concentração do gás carbônico pode chegar a 1% (KWAN e WONG, 2005). No entanto, a reação de carbonatação também pode ocorrer em ambientes com baixíssimas concentrações de CO₂ como zonas rurais e campos abertos onde a concentração deste gás é da ordem de 0.015%, (PAULETTI, 2004).

A porosidade da matriz de cimento é função de diversas características inerentes ao material (como a relação água/cimento e condições de cura) e fator preponderante no controle da velocidade de carbonatação visto que quanto maior a porosidade de uma pasta, tanto em quantidade quanto em tamanho dos poros, mais facilmente os gases do ambiente e outros agentes agressivos conseguem avançar por sua microestrutura e acelerar o processo de carbonatação. Contudo, ainda que as variáveis intrínsecas ao material possam ser modificadas de acordo com as necessidades e limites de projeto, as variáveis relativas ao meio de exposição (temperatura, umidade relativa, concentração gasosa, precipitação, etc...) possuem comportamento imprevisível e a diversidade de combinações possíveis entre estes fatores faz com que a obtenção de dados passíveis de análise sobre a carbonatação demore anos sob

condições naturais de exposição, em especial para concretos e argamassas com relação água/cimento inferior a 0,50 (POSSAN *et al.*, 2007).

Pauletti (2009) aponta para a falta de padronização durante a condução dos ensaios de carbonatação acelerada e observando o panorama das pesquisas realizadas no Brasil, Possan *et al.* (2007) reforçam essa visão destacando que apesar de muito ter sido feito no estudo do fenômeno, ainda existem muitas lacunas a serem preenchidas para a real compreensão do funcionamento da carbonatação sobre os diversos tipos de materiais.

É graças ao maior conhecimento sobre os mecanismos de transporte de líquidos e gases nos meios porosos de materiais como o concreto que se têm evoluído o estudo acerca da durabilidade das estruturas de concreto armado, podendo-se ainda destacar que o desenvolvimento de equipamentos de análise científica confiáveis com materiais alternativos não só viabiliza a execução de diversos estudos como também é um importante fator na divulgação e ampliação do conhecimento (ROQUE e MORENO JUNIOR, 2005).

A construção de uma câmara de carbonatação, com materiais de baixo custo, permite convergir diversos pontos de vista: criar uma situação prática pedagógica potencialmente inovadora onde o ensino-aprendizagem ocorre a partir de um problema real criado pelo docente, construir conceitos do comportamento de materiais cimentícios, coletar informações para construir aulas expositivas-iterativas potencialmente significativa e motivar os aprendizes por meio do vivenciar problemas reais, ao invés de problemas de papel.

2 CONSTRUÇÃO DA CÂMARA

2.1 Lista de materiais

Para a construção da câmara foram utilizados materiais de baixo custo e disponíveis em mercados, farmácias e postos de combustíveis. A quantidade empregada pode variar conforme as tentativas de construção e adequação realizada pelo grupo. O Quadro 1 sugere uma quantidade inicial.

Quadro 1 - lista de materiais utilizados na construção da câmara

Quant.	Material	Quant.	Material
1	Caixa de poliestireno expandido (Isopor) de 45 litros;	1	Vaso plástico;
1	Placa de vidro com espessura de 4 mm;	1	Massa de calafetar automotiva;
4	Barras de aço em formato "U";	1	Ventoinha e fonte de 12v;
4	Parafusos com porca;	1L	Solução de bateria com densidade 1250 g/L;
1	Torneira plástica;	500g	Bicarbonato de sódio;
2	Garrafas PET de 2 litros;	300g	Cloreto de sódio.

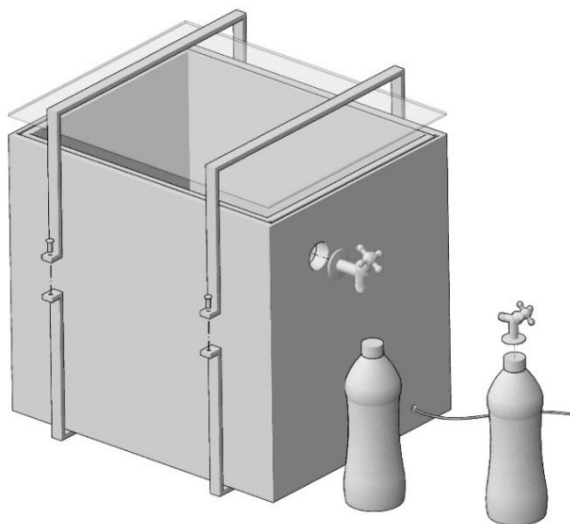
Fonte: Autores.

2.2 Descrição da montagem

O esquema de montagem da câmara é apresentado na Figura 1. A escolha do material para a caixa se deu pelo seu comportamento como bom isolante térmico, fornecendo também vedação contra variações externas de umidade, e baixo custo. Em uma das laterais da caixa foi feito um orifício superior e colocada uma torneira plástica para controlar a entrada do CO₂, também foi feito um orifício inferior para passagem dos fios da ventoinha. Ao longo da parte

superior da caixa foi feita uma fenda de aproximadamente 5 mm para posterior posicionamento do material selante.

Figura 1 – Modelo de montagem da câmara



Fonte: Autores.

A tampa da caixa foi substituída pela placa de vidro para evitar que deformações da tampa original comprometessem os ensaios. O material empregado contribui ainda para o acompanhamento das variáveis internas, possibilitando que seja posicionado um termômetro-higrômetro digital no meio de exposição, além de permitir a verificação da vedação da caixa, pois regiões onde a camada de material selante não se apresentar uniformemente distribuída podem ser visualizadas e reparadas.

As barras de aço em U envolvem a câmara e são parafusadas em pares para conter a tendência expansiva da caixa e o erguimento da tampa devido ao acréscimo de pressão durante a etapa de inserção do gás carbônico. A massa de calafetar automotiva foi utilizada para selar a câmara, sendo aplicada nos orifícios laterais e na interface da caixa com a tampa de vidro. Graças à sua boa aderência em diversos substratos e propriedade não secativa, a massa otimiza a operação da câmara e facilita sua manutenção em longo prazo.

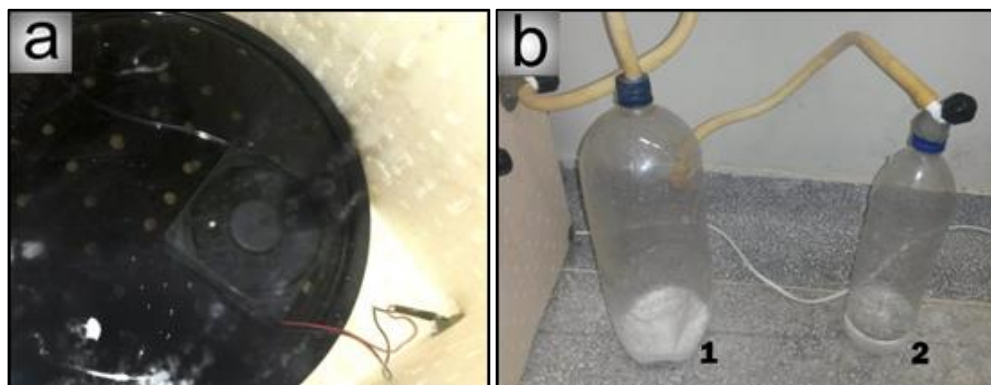
Para controlar a umidade no ambiente de exposição, foi posicionado no interior da câmara um recipiente plástico (Figura 2a) com furos na tampa destinado a conter uma solução salina saturada. O uso das soluções salinas para controle de umidade é bem conhecido e aplicado em diversas áreas, desde o teste e calibração de higrômetros até a caracterização fisiológica de sementes. O nível de umidade relativa obtido é fixo para determinadas faixas de temperatura e depende do sal utilizado. A solução utilizada é a de cloreto de sódio, que apresenta umidade de equilíbrio de aproximadamente 75% quando situada entre 0 e 40°C (GREENSPAN, 1976).

A diferença de densidade do CO₂ em comparação aos gases predominantes no ar ambiente faz com que exista uma tendência natural de depósito deste na região inferior da câmara, levando a um gradiente vertical de concentração gasosa nos corpos de prova. A ventoinha atua para evitar tal comportamento, promovendo a circulação de ar no interior da câmara durante os ensaios, auxiliando ainda na manutenção dos níveis de umidade uma vez que força a circulação do ar através dos orifícios no recipiente com a solução salina (Figura 2a).

O dispositivo para obtenção de CO₂ foi idealizado observando o esquema proposto por Guimarães e Dorn (2012), consistindo em uma forma simples de obter o gás por meio da reação

entre ácido sulfúrico e bicarbonato de sódio. O sistema é composto por duas garrafas conectadas entre si e com a câmara através de mangueiras de látex conforme apresentado na Figura 2b.

Figura 2 – (a) Posicionamento da ventoinha e (b) montagem do sistema de obtenção de CO₂



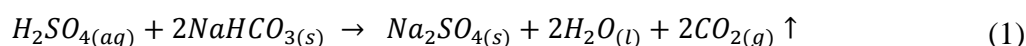
Fonte: Autores.

É na garrafa 1 que fica armazenado o bicarbonato de sódio e onde ocorre a reação de produção do gás carbônico. Esta garrafa está conectada à torneira da câmara (pela mangueira que sai da tampa) e é conectada a garrafa 2 por meio da mangueira lateral (por onde circulará a solução de ácido sulfúrico). A garrafa 2 recebe a solução de bateria e também dispõe de uma torneira em sua tampa, controlando a conexão com a garrafa 1. Uma vez que o sistema esteja propriamente conectado, são abertas as torneiras e através do levantamento da garrafa 2 faz-se a transição do reagente líquido para a garrafa 1, dando início à reação que produz o gás carbônico.

A porosidade do poliestireno expandido permite que haja saída de gás pelas paredes do material a partir de um determinado valor de pressão. Tal propriedade é desejável durante o processo de inserção de gás por realizar a remoção de ar do interior da câmara, garantindo posteriormente a concentração desejada para os ensaios. No entanto, a depender da quantidade de reagentes a ser utilizada, a transferência da solução para a garrafa 1 deve ser feita lentamente para evitar que um grande acréscimo de pressão danifique a câmara.

Uma vez transportado todo o reagente líquido, a válvula da garrafa 2 é fechada. Quando a pressão entre a câmara e a garrafa 1 se equilibrar, o transporte do CO₂ se dará por meio da difusão e se for necessário acrescentar gás durante os ensaios basta fechar a torneira de controle da câmara, desconectar o sistema, adicionar a quantidade adequada de reagentes e repetir o processo descrito.

A quantidade dos reagentes é obtida através de cálculos estequiométricos, devendo ser observado que o volume de ar disponível na câmara varia de acordo com o volume das garrafas utilizadas e número de corpos de prova a serem ensaiados. Sabe-se que nas condições ambientais de temperatura e pressão (CATP) o volume ocupado por um mol de um determinado gás é de aproximadamente 25 litros a 25°C e 1 atm de pressão, sendo produzidos na reação completa dois mols de CO₂ conforme Equação (1).



Sabendo-se que a solução de bateria, facilmente encontrada em lojas de componentes automotivos, consiste em uma solução de ácido sulfúrico com concentração de 30% em massa, pode-se determinar a quantidade necessária de cada reagente para a obtenção diferentes níveis

de concentração de CO₂ na câmara. Deve-se observar que o volume de referência para a determinação da concentração de gás varia de acordo com o volume interno da câmara e das garrafas conectadas. A Tabela 1 apresenta a relação entre os reagentes e a concentração de CO₂ resultante no ambiente de exposição relacionando o volume de gás produzido com o volume disponível no sistema, considerando: a presença de 24 corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro com 10 cm de altura, o volume disponível na garrafa 1 e o volume ocupado pela ventoinha e pela solução salina.

Tabela 1 – Relação de reagentes e concentração de gás na câmara para 24 corpos de prova cilíndricos

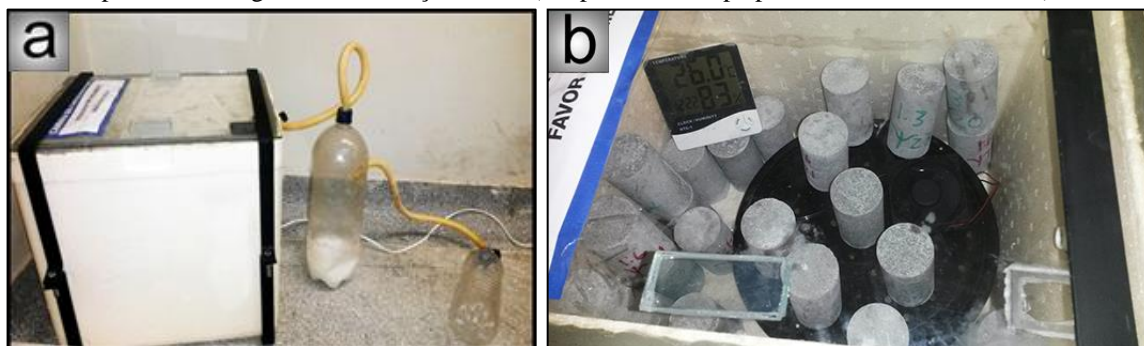
Solução de bateria (g)	Bicarbonato de sódio (g)	Concentração de CO ₂
2,66	1,37	1%
26,58	13,67	10%
66,46	34,18	25%
132,91	68,36	50%
239,24	123,04	90%
263,34	135,63	99%

Fonte: Autores

Para validar a construção da câmara, apresentada numa perspectiva externa e interna na Figura 3, foi realizado ensaio acelerado comparativo (entre ambiente externo e interno) usando 24 corpos de prova cilíndricos de argamassa com traços 1:3 e 1:6 com relação água/cimento de 0,52 e 1,17, respectivamente, obtido através do ensaio de consistência descrito na 13276 (ABNT, 2016), para um espalhamento de aproximadamente 260 mm.

Metade dos corpos de prova, de cada traço, do ensaio ficou em exposição sob condições ambientais, enquanto a outra metade foi destinada ao interior da câmara com carbonatação acelerada por 28 dias. A umidade relativa na câmara foi mantida em aproximadamente 85% e a temperatura não ultrapassou os 26°C. Após o período de exposição os corpos de prova foram fraturados diametralmente, sendo aplicada solução de fenolftaleína nas superfícies recém-expostas imediatamente após a ruptura. A fenolftaleína atua como um indicador de pH e destaca as partes não carbonatadas com uma coloração púrpura devido à manutenção do pH alcalino do meio, permitindo a medição da profundidade carbonatada com auxílio de um paquímetro. Foi empregada análise estatística de variância (ANOVA) com significância de 5% e um fator de variação, o ambiente de exposição.

Figura 3 – Câmara em operação nas perspectivas externa (a) e interna (b) com a distribuição dos corpos de prova termohigrômetro e solução salina (recipiente de tampa preta com ventoinha acima).



Fonte: Autores.

3 RESULTADOS

Os resultados do ensaio comparativo são expostos na Tabela 2, apresentando a profundidade média de carbonatação juntamente com o desvio padrão, coeficiente de variação entre as amostras e o valor-P do teste ANOVA.

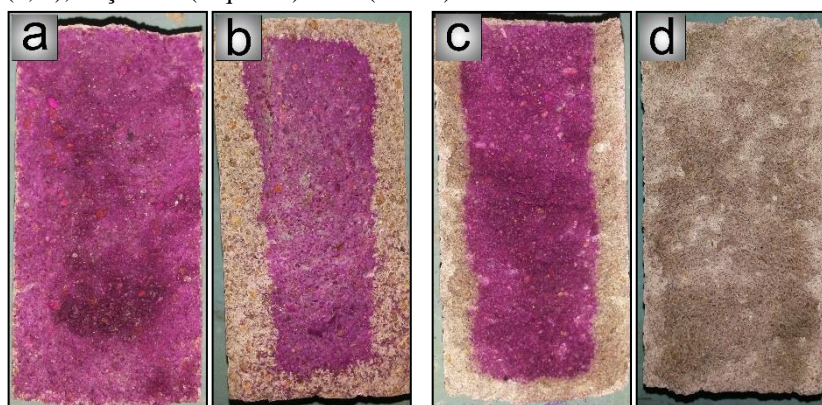
Tabela 2 - Profundidade de carbonatação nos traços 1:3 e 1:6, sob diferentes condições de exposição com seus respectivos desvios padrão (DP) coeficientes de variação (CV).

Condições de exposição	Traço 1:3				Traço 1:6			
	Média (mm)	D.P. (mm)	C.V.	Valor-P	Média (mm)	D.P. (mm)	C.V.	Valor-P
Ambiente	0,49	0,55	1,12	$4,02 \times 10^{-24}$	8,59	1,37	0,16	$8,98 \times 10^{-45}$
Câmara	8,84	1,99	0,22		Total	-	-	

Fonte: Autores.

Pode-se observar que as amostras do traço 1:3 posicionadas no interior da câmara apresentaram uma profundidade média de carbonatação 18 vezes maior do que aquelas expostas ao ambiente, enquanto no traço 1:6 houve carbonatação total das amostras expostas à câmara acelerada. O valor-P de ambos os grupos foi menor que 5%, indicando a influência significativa do ambiente de exposição da câmara no avanço da carbonatação. As frentes de carbonatação podem ser visualizadas na Figura 4, sendo, o traço 1:3 submetido a condições de $\text{CO}_{2(g)}$ da atmosfera (a) e na câmara de carbonatação acelerada (b) e para o traço 1:6 na atmosfera (c) e na câmara(d).

Figura 4 – Profundidade de carbonatação aos 28 dias sob condições ambientais (a, c) e envelhecido na câmara (b, d), traços 1:3 (esquerda) e 1:6 (direita).



Fonte: autores

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A câmara desenvolvida apresentou comportamento satisfatório, atestado pela significativa diferença nas profundidades de carbonatação observadas entre os corpos de argamassa ensaiados em atmosfera e dentro da câmara. Além disso, destaca-se a facilidade em controlar

adequadamente as variáveis envolvidas no processo, amenizando as variações de temperatura e estabilizando os níveis de umidade com o uso das soluções salinas saturadas.

A utilização de materiais de baixo custo permite a construção do equipamento pelos aprendizes em diferentes locais e a experiência pode ser uma alternativa de construção significativa dos conceitos. Mas para que isso ocorra, a mediação docente é fundamental. Não se pode pensar que a mera construção de um aparato vai modificar a aprendizagem. É a intervenção do docente acompanhando a construção do equipamento e a operação que irá instigar questionamentos, provocar discussões e, fundamentalmente, coletar informações sobre o que os alunos expressaram, oralmente ou em outras formas de linguagem, as dúvidas e conceitos já construídos efetivamente. O professor atento aos sinais manifestados pode coletar essas informações para construir aulas expositivas onde as informações coletadas servem de ancora para a construção significativa dos conhecimentos aos quais o professor tem por objetivo ensinar.

Mas antes de construir o equipamento, é fundamental que o professor auxilie o seu grupo a formular problemas autênticos e que podem facilitar a construção significativa dos conteúdos que pretende ensinar. Pode partir de perguntas como: como diferentes processos de cura pode afetar a frente de carbonatação em argamassa? Será que a variação da relação a/c da matriz cimentícia interfere na carbonatação? A variação do tipo de agregado interfere na carbonatação? Como a variação do teor e tipo de aglomerante pode interferir no avanço da frente de carbonatação? Como o equipamento é construído pelos aprendizes, outras questões surgem durante o processo.

Quanto às dificuldades apontadas por Goldberg (2017), cabe à mediação docente conduzir o ensino aprendizagem no sentido de estimular aos discentes a formularem perguntas, modelar e criar uma solução ao problema enfrentado por meio da decomposição de situações complexas em menores. No quesito linguagem, a apresentação dos resultados por meio de artigo e apresentação oral é profícua no estímulo a superação das carências de expressão escrita e oral.

Estimular os questionamentos, a busca de referenciais, a construção de equipamento, teste de hipótese e reformulação de conceitos é um processo que permite aos atores da educação em engenharia vivenciar o ato de aprender. Isso estimula o aprender e pode retirar o discente da posição passiva de ouvir, anotar e reproduzir palavras em provas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ABENGE, Associação Brasileira de Educação em Engenharia. **Proposta de Diretrizes Curriculares Nacionais para o Curso de Engenharia**. 2018. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/file/PropostaDCNABENGEMEI_CNI.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2018.

AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. Psicologia educacional. Tradução por Eva Nick *et al.* Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BACHELARD, G. A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Trad. Estela dos Santos Abreu. São Paulo: Contraponto, 1996.

BARBOSA, Eduardo Fernandes; MOURA, Dácio Guimarães. **Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia**. Disponível em: <<http://copec.eu/congresses/intertech2014/proc/works/25.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

- BRANCO, F.; PAULO, P.; GARRIDO, M. Vida útil na construção Civil. Boletim Técnico ALCONPAT, n. 04, 2013.
- CASTRILLÓN, José Eucario Parra; CAMACHO, Mauricio José Amariles; CASTRO, Carlos Arturo Castro. Aprendizaje basado en problemas en el camino a la innovación en ingeniería. **Ingenierías Usbmed**, Medellín, v. 7, n. 2, p.96-103, jun. 2016. Disponível em: <<http://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/2486>>. Acesso em: 20 mar. 2018
- FREIRE, Paulo. **A importância do ato de ler**. 23. ed. São Paulo: Autores Associados, 1989. 104 p.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- GOLDBERG, D. E.. **The Missing Basics & Other Philosophical Reflections for the Transformation of Engineering Education**. Disponível em: <<http://philsci-archive.pitt.edu/4551/1/deg-grasso-2009-the-missing-basics.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2017.
- GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no Ensino de Química:: Caminhos e Descaminhos rumo a aprendizagem Significativa. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 31, n. 3, p.198-2002, ago. 2009. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_3/08-RSA-4107.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- GUIMARÃES, C. C.; DORN, R. C.. Efeito Estufa Usando Material Alternativo. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 37, n. 2, p.153-157, maio 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150033>.
- IZQUIERDO, M.; SANMARTÍ, N. e ESPINET, M. Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 17, n. 1, p. 45-60, 1999.
- NEVILLE, A M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p. Tradução: Ruy Alberto Cremonini.
- PAPADAKIS, V.G.; VAYENAS, C. G.; FARDIS, M. N. Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation. **ACI Materials Journal**. N.88, p. 363-373, Jul-Aug 1991.
- PAULETTI, C. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- PAULETTI, C. **Estimativa da carbonatação natural de materiais cimentícios a partir de ensaios acelerados e de modelos de predição**. 2009. Tese de Doutorado em co-tutela (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre e École Doctorale Mécanique, Energétique, Génie Civil et Procédés, Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse.
- PINTO, Camila Pereira *et al.* Planejamento, condução e análise do método de avaliação de uma disciplina do curso de engenharia de produção fundamentada na aprendizagem baseada em problemas. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p.671-695, abr. 2015. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1936/1289>>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- POSSAN, E; PAULETTI, C; DAL MOLIN, D. C. C. Carbonatação acelerada: estado da arte das pesquisas no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p.7-20, dez. 2007
- ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, A. L. **Considerações sobre vida útil do concreto**. São Carlos, 2005.

CONSTRUCTION OF CARBONATION CHAMBER: AN ALTERNATIVE TO THE CONSTRUCTION OF KNOWLEDGE IN ENGINEERING COURSES

Abstract: *It's been experienced a reality marked by accelerated technological innovation. These changes require new competencies of Engineering professionals which, in turn, intend to discuss the training of Engineering professionals, whether in the scope of curriculum, teacher formation or the teaching-learning methodologies currently used. Often, the methodologies used in higher education institutions are based only on lectures. There is no consensus as to the best alternative to overcome the large differences between the real world needs and the employed methodologies, already criticized by Paulo Freire, since 1989. A promising alternative is to employ methodologies in which learners act actively in the construction of knowledge, just as problem-based learning. The problematizing experimentation can be an alternative that helps the teacher to overcome the challenges imposed by the present days. From this perspective, it is proposed the construction of an accelerated carbonation chamber using low cost materials. The verification of chamber's efficiency consisted in comparing the carbonation depth of mortar specimens, in 1:3 and 1:6 mixes, exposed to carbonation in the chamber and under atmospheric conditions. The results demonstrated the efficiency of the chamber in accelerating the advance of the carbonation front. In addition, it showed potentiality of its use to significantly teach concepts of cementitious materials.*

Key-words : *Active construction of knowledge. Teacher mediation. Carbonation. Problem-based learning.*