



## AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉCNICAS DO CONCRETO CONVENCIONAL COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA POR RESÍDUOS DE CASCA DE OVO

LUCAS ALVES DE OLIVEIRA; PAULO RODRIGO STIVAL BITTENCOURT

### RESUMO

A utilização da casca de ovo na produção do concreto, além de favorecer a destinação de um resíduo, contribui para o aumento da porosidade do concreto, proporcionando maior captura do CO<sub>2</sub>. Neste estudo, foram fabricados 3 tipos de corpos de provas, onde a areia foi substituída parcialmente em unidade de volume, por casca de ovo, nos percentuais de 5, 10 e 20%. Os ensaios mecânicos apontaram uma queda nos valores de resistência à compressão, que podem ser corrigidos reduzindo-se a relação água/cimento de 0,60 para 0,40. Também verificou-se um aumento na velocidade da carbonatação do concreto em conformidade com o aumento do teor de casca de ovo nos materiais. Ainda, restou verificado maior resistência a impactos dos concretos substituídos com casca de ovo, notabilizado pela menor profundidade e menor área de influência dos impactos de projéteis. Também constatou-se um aumento na porosidade do concreto com casca de ovo, comprovado pela redução na densidade, aumento da absorção de água e maior velocidade de carbonatação. Desta forma, a casca de ovo apresenta potencial de uso para as atividades voltadas para a produção de concretos para fins não estruturais, atribuindo valor a este resíduo sólido e reduzindo a pressão exercida sob os recursos naturais não renováveis, como a areia neste caso. Por fim, recomenda-se estudos de substituição do cimento por casca de ovo, a fim de verificar a possibilidade de preenchimento de vazios existentes em razão da porosidade do concreto, favorecendo o aumento de resistência aliado aos outros benefícios já apontados neste estudo.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos; economia circular; impacto ambiental; reúso de resíduos; desenvolvimento sustentável.

### 1 INTRODUÇÃO

A construção civil utiliza entre 40% a 70% dos recursos naturais existentes na Terra, e por isso, é um dos setores que provocam maior impacto ambiental devido aos elevados consumos de matéria prima. Deste modo, o modelo econômico adotado no cenário atual deve considerar o desenvolvimento humano, a inovação tecnológica, o uso e reúso equilibrado de recursos naturais disponíveis e a reciclagem (CBIC, 2014).

Um modelo de gestão dos recursos naturais bastante atual é o de Economia Circular, que nos desperta para uma nova forma de utilização das matérias-primas e dos recursos energéticos. Esse conceito vai além da simples gestão de resíduos e da reciclagem, com um alcance mais amplo, circulando mais efetivamente os produtos e materiais (CBIC, 2018).

Neste sentido, a reutilização e reciclagem de materiais se apresenta como uma grande alternativa, e deste modo, incorporar a casca do ovo em blocos de concreto para uso no setor de construção civil propicia uma economia de matéria prima e conseqüentemente uma menor pressão de resíduos em aterros sanitários (CBIC, 2014).

Desta forma, a proposta desta pesquisa se notabiliza pela seguinte problemática: como

valorizar a casca de ovo a fim de obter um novo material que pode ser explorado economicamente? E quais as vantagens técnicas e ambientais dos blocos de concreto agregados com casca de ovo em comparação aos blocos de concreto convencionais? Espera-se a partir desta pesquisa agregar valor a este resíduo sólido, substituindo-se parcialmente o percentual de areia que compõe o traço do concreto, por casca e ovo, demonstrando a possibilidade de se criar um material com propriedades físicas e mecânicas adequadas para o uso na construção civil. Tal prática favorecerá a gestão sustentável de resíduos sólidos, contribuindo de forma significativa na redução de impactos ambientais.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O método consistiu na produção de blocos de concreto com dois padrões distintos: 1) padrão convencional, que servirá de comparativo com o bloco de concreto agregado casca de ovo; 2) padrão alternativo, a partir da substituição da areia por casca de ovo, na proporção de 5%, 10% e 20%. O objetivo deste método, é identificar o percentual mais adequado de agregação da casca de ovo, sem que haja interferência nas propriedades físicas do material.

Para análise das diferentes propriedades físicas do material, produziu-se 3 tipos de corpos de prova: *prismático quadrangular, quadrado e cilíndrico*. Os corpos de prova do tipo cilíndrico, foram submetidos a teste de resistência a compressão. Já os corpos de prova prismático quadrangular, foram submetidos a ensaio de carbonatação, com a finalidade de verificar o potencial de captura de CO<sub>2</sub>. E por fim, os corpos de prova do tipo quadrado, foram submetidos a ensaio balístico, a fim de verificar significativas mudanças na absorção de impactos do material produzido.

A primeira medida a ser adotada no que se refere a produção dos corpos de prova, foi verificar a granulometria da casca do ovo, com vistas a estabelecer uma similaridade com os grãos de areia. Para a moagem do resíduo, utilizou-se de uma peneira com abertura de 4mm, visto que o objetivo foi proporcionar uma granulometria semelhante à areia. O ensaio granulométrico, determinou o módulo de finura e diâmetro máximo do agregado, necessários para a classificação do material conforme NBR 7211 (2019).

Também realizou-se a determinação do índice de absorção de água dos corpos de prova, considerando as exigências estabelecidas na norma técnica ABNT NBR 9778 (2009). O objetivo foi verificar o índice de vazios por imersão a partir da comparação da massa seca com a massa úmida. A absorção da água por imersão, é o processo pelo qual a água ocupa os poros permeáveis de um corpo sólido a partir da penetração.

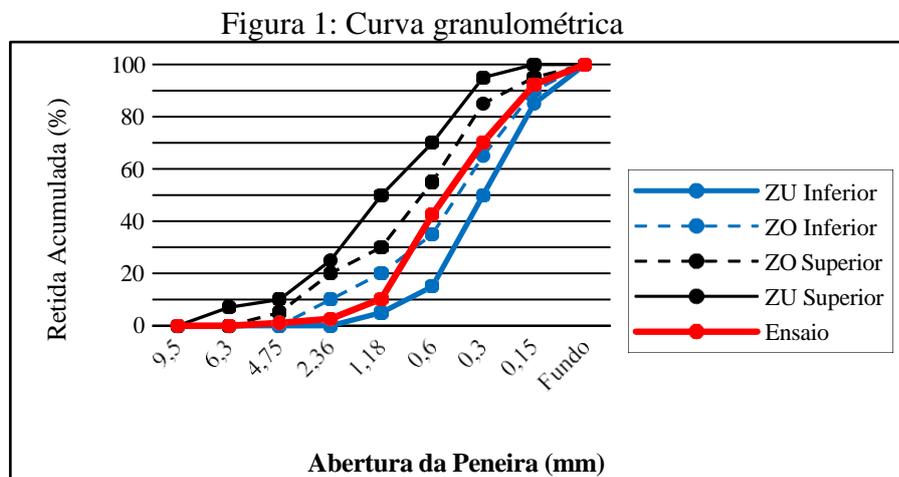
Para analisar a resistência ao impacto, utilizou-se como referência a NBR 15.000, que trata da blindagem de impactos balísticos. Foram realizados 5 disparos de arma de fogo em cada corpo de prova de formato quadrado com dimensões 50x50cm. Após isto, determinou-se a área de influência do projétil e a profundidade da perfuração. As munições utilizadas no ensaio balístico apresentam as seguintes características: marca CBC, 40mm, ponta ogival, energia cinética de 654 Joules, e velocidade de deslocamento do projétil de 355 m/s, conforme dados do fabricante (CBC, 2021).

Os corpos de prova do tipo prismático foram submetidos a análise de carbonatação. Neste processo, utilizou-se um cilindro de CO<sub>2</sub> de 6kg, para propagação do referido gás no interior de um recipiente hermeticamente fechado. Os materiais permaneceram sob o efeito do CO<sub>2</sub> por períodos de 7, 14 e 28 dias.

Os ensaios de compressão, foram realizados conforme o disposto na ABNT NBR 5739 (2018). Deste modo, foi possível verificar a resistência à forças de compressão nos corpos de prova com casca de ovo, em comparativo com o padrão convencional.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do ensaio granulométrico da casca de ovo, pode-se verificar que dimensão máxima do agregado é de 2,36 mm. Já o módulo de finura, neste caso corresponde a 2,19. A partir disto, chega-se a seguinte curva do ensaio granulométrico, destinada a verificar se o agregado cumpre os requisitos exigidos para sua conformação como agregado miúdo.



Fonte: do Autor (2022).

Analisando a curva correspondente ao ensaio, pode-se observar que a casca de ovo encontra-se entre os limites inferiores e superiores, e se aproximando de pontos ótimos, o que viabiliza sua utilização e classificação como agregado miúdo. No que diz respeito a sua classificação como agregado miúdo, considerando seu módulo de finura de 2,19 mm, a norma qualifica esta dimensão como sendo um agregado de tamanho médio-fino (NBR 7211, 2019).

A análise de densidade dos corpos de prova produzidos, evidenciou uma redução nos valores de massa do concreto, na medida em que houve um aumento do percentual de casca de ovo, conforme exposto a seguir.

Tabela 1: Densidades dos diferentes corpos de prova

Corpo de Prova	Massa (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
0%	344	128	2,68
5%	337	128	2,63
10%	331	128	2,58
20%	318	128	2,48

No que diz respeito à absorção de água, observou-se uma elevação no percentual deste índice, conforme há o aumento do teor de casca de ovo utilizado no concreto. A elevação do teor de absorção se deve em razão do aumento da porosidade do concreto, pois a água acaba por ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido a partir da penetração (NBR 9778, 2009). Na tabela 2, são apresentados os resultados do teste de absorção de água.

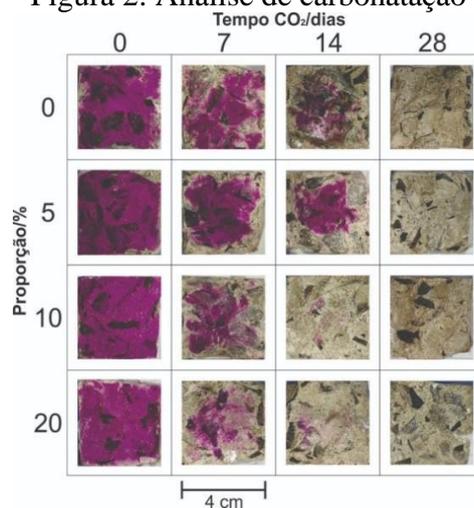
Tabela 2: Determinação da absorção de água

Corpo de Prova	Massa Saturada (g)	Massa Seca (g)	Absorção de água (%)
0%	347	339	2,35
5%	338	328	3,04

10%	335	323	3,71
20%	321	309	3,88

Para a análise da frente de carbonatação, fez-se a utilização de um indicador químico de pH denominado fenolftaleína, que adquire coloração rosa intensa em meio básico, e incolor em meio ácido. A técnica consistiu na aspersão do nominado indicador em determinada região fraturada do corpo de prova. O contato da solução com o concreto evidencia uma zona não-carbonatada (NC) de coloração rosa, o que nos permite considerar esta região como sendo alcalina, e outra região incolor, com pH ácido, conforme apresentado na figura 2.

Figura 2: Análise de carbonatação



Fonte: do Autor (2022)

A porosidade do concreto, exerce uma significativa influência no processo de carbonatação, visto que quanto mais poros existentes no meio, maior a capacidade de difusão do CO<sub>2</sub> no material. Quanto maior o percentual de agregado alternativo (casca de ovo), menor foi o tempo de absorção completa de carbono. Esta maior velocidade na absorção do carbono, se deve principalmente em razão do aumento da porosidade do concreto, que ficou evidenciado nos testes de densidade anteriormente apresentados.

Em relação aos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova, chegou-se aos resultados apresentados na tabela a seguir.

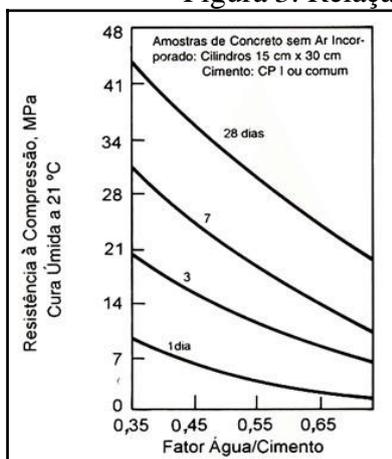
Tabela 3 Resistências dos corpos de prova

Corpo de Prova	Resistência (MPa)
0%	25,42
5%	24,35
10%	21,77
20%	18,71

Considerando os números apresentados acima, constata-se uma redução progressiva na resistência do concreto, na medida em que há o aumento do percentual de tratamento do material, conforme apresentado no gráfico a seguir.

É importante observar que o corpo de prova submetido a um tratamento de 5% (24,35 MPa) não apresentou uma variação considerável de resistência quando comparado ao concreto sem tratamento (25,42 MPa). A NBR 6118 (2014, p. 18), estabelece uma resistência de 25 MPa para concretos a serem utilizados em áreas urbanas, e de 20 MPa para áreas rurais. Deste modo, percebe-se que o corpo prova tratado com 5% de casca de ovo apresentou um valor de resistência bastante significativa em termos de norma técnica, pois embora não tenha atingido os 25 MPa exigidos em norma, o valor ficou bastante próximo, o que pode ser corrigido com ajustes na relação água/cimento. Uma estratégia de correção, ou seja, para o aumento da resistência deste concreto, é a redução da relação água/cimento de 0,6 para 0,4. O fator água/cimento exerce influência nos valores de resistência do concreto, conforme apresentado na figura 6, por Mehta & Monteiro (2008).

Figura 3: Relação da resistência a compressão e fator água cimento



Fonte: Mehta & Monteiro (2008)

Deste modo, a redução da relação água/cimento pode contribuir para o aumento da resistência do corpo de prova produzido com 5% de casca de ovo em substituição à areia, trazendo resultados animadores para esta pesquisa.

Por fim, o teste de resistência a impactos demonstrou resultados satisfatórios conforme houve o aumento no percentual de casca de ovo no concreto. O ensaio balístico analisou as áreas de influência dos projéteis nos corpos de prova de formato quadrado.

Analisando as médias das áreas de influência, pode-se concluir que os grupos submetidos ao tratamento apresentaram uma menor área de abrangência do impacto dos projéteis, conforme tabela a seguir.

Tabela 4: Áreas média de influência (cm<sup>2</sup>) Corpo de Prova

	0%	5%	10%	20%
	19,16	15,11	10,78	12,92

Isto é uma evidência de significativa melhoria na resistência ao impacto com o uso da casca de ovo, no entanto, ainda se faz necessário verificar o nível de profundidade do projétil no material para uma conclusão mais apurada.

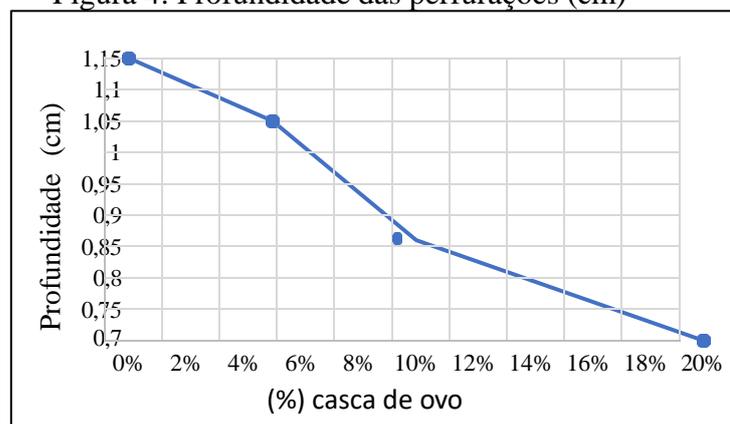
Com o auxílio de um paquímetro aferidor de profundidade, pode ser verificado a profundidade das perfurações realizadas nos diferentes corpos de prova, a fim de realizar um comparativo entre eles.

Tabela 5: Média de profundidade (cm) Corpo de Prova

0%	5%	10%	20%
1,15	1,05	0,86	0,70

Tais resultados demonstram uma redução significativa na profundidade das perfurações, o que nos dá mais uma evidência de que houve um aumento na absorção de impactos nos concretos constituídos por casca de ovo. A figura 8 representa graficamente os resultados discutidos.

Figura 4: Profundidade das perfurações (cm)



Fonte: do Autor (2022).

Deste modo, conclui-se que a casca de ovo aumentou a capacidade do concreto em absorver a energia de impacto. A estrutura da casca do ovo e seus componentes como o  $\text{CaCO}_3$ , proporcionam uma maior separação dos materiais agregados, razão pela qual reduziu-se a resistência à compressão, mas em contraponto, aumenta a resistência do concreto após receber a tensão máxima de ruptura.

#### 4 CONCLUSÃO

A utilização da casca de ovo na produção do concreto objetiva contribuir para redução dos impactos ambientais decorrentes da gestão inadequadas de resíduos e da exploração dos recursos naturais. A valorização de resíduos como a casca de ovo, favorecem a reentrada dos recursos naturais no ciclo econômico, atribuindo uma dinâmica sustentável para o gerenciamento deste resíduo. Os resultados apresentados indicam que houve uma queda nos valores de resistência do concreto conforme o aumento da substituição da areia por casca de ovo. No entanto, corpo de prova substituído em 5%, apresentou uma resistência de 24,35Mpa, valor bastante próximo do exigido em norma técnica para concretos a serem utilizados em

áreas urbanas (25MPa). Este problema pode ser corrigido reduzindo a relação água/cimento de 0,60 para 0,40, o que proporcionará maior resistência para o material. Ainda, o corpo de prova substituído em 10%, apresentou resistência que atende aos critérios de uso em áreas rurais (20MPa), conforme norma técnica (NBR 6118, 2014).

Também restou verificado um aumento na porosidade do concreto conforme ocorre o aumento do percentual de agregação de casca de ovo, evidenciado pelos seguintes fatores: redução da densidade, aumento na capacidade de absorção de água de água, maior velocidade do processo de carbonatação e maior capacidade de captura de dióxido de carbono e queda da resistência do concreto.

O ensaio de balístico demonstrou uma melhoria significativa na resistência a impactos dos concretos produzidos com casca de ovo, reduzindo a área de influência dos impactos e a sua profundidade.

A redução nas quantidades de extração de areia, por si só já é uma contribuição significativa para o meio ambiente em âmbito global, tendo em vista os impactos decorrentes desta atividade, conforme visto anteriormente.

Deste modo, conclui-se que a utilização da casca de ovo em substituição parcial da areia, pode proporcionar um concreto mais leve, com maior potencial de captura de dióxido de carbono e maior resistência a impactos, trazendo grandes benefícios ao meio ambiente a partir da valorização econômica do resíduo e redução do uso da areia, um recurso natural não renovável.

Por fim, sugere-se pesquisas no sentido de verificar a viabilidade da casca de ovo em substituição ao cimento, em razão deste material apresentar granulometria adequada para o preenchimento dos vazios existentes nos poros do concreto. Esse preenchimento de vazios poderá fornecer maior resistência mecânica à compressão, aliado aos outros benefícios observáveis nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados-determinação da composição granulométrica. ABNT, Rio de Janeiro, 2003.

**NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

**NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

**NBR-7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

**NBR 5738**: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

**NBR-7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BRASIL. **Institui a política nacional de resíduos sólidos. 2010**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm)>. Acesso em 22 set. 2020.

**CBC. Munição CBC .40 S&W CSCV 160gr:** Especificações do Produto – Tabela Balística. Disponível em: <https://www.cbc.com.br/produtos/40-sw-cscv-160gr/>. Acesso em 22 de junho de 2021.

**CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Desenvolvimento com sustentabilidade.** 2018. Disponível em: [https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Desenvolvimento\\_Com\\_Sustentabilidade\\_2014-1.pdf](https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Desenvolvimento_Com_Sustentabilidade_2014-1.pdf). Acesso em 8 de dezembro de 2020.

**CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Desenvolvimento com sustentabilidade:** Construção Sustentável. 2014. Disponível em: <http://www.sinduscondf.org.br/portal/arquivos/ProgramaConstrucaoSustentavel-CBIC.pdf>. Acesso em 15 set. 2020.

**CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Desenvolvimento com sustentabilidade:** Construção Sustentável. 2014. Disponível em: <http://www.sinduscondf.org.br/portal/arquivos/ProgramaConstrucaoSustentavel-CBIC.pdf>. Acesso em 15 set. 2020.

MAZURANA, L.; BITTENCOURT, P. R. S.; SCREMIN, F.R.; NEVES, J. POSSAN, E. **Determination of CO<sub>2</sub> capture in rendering mortars produced with recycled construction and demolition waste by thermogravimetry.** Jorunal of Thermal Analysis and Calorimetry. Springer, 2021.

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