

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR

LUCAS ALVES DE OLIVEIRA

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

MEDIANEIRA

2023

LUCAS ALVES DE OLIVEIRA

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

**EVALUATION OF THE TECHNICAL PROPERTIES OF CONVENTIONAL
CONCRETE WITH PARTIAL REPLACEMENT OF SAND BY EGGHELL WASTE**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Tecnologias
Ambientais da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR)

Orientador: Dr. Paulo Rodrigo Stival Bittencourt

MEDIANEIRA

2023



Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho licenciado para fins não comerciais, desde que atribuam ao autor o devido crédito e que licenciam as novas criações sob termos idênticos.



LUCAS ALVES DE OLIVEIRA

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

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Tecnologias Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologias Ambientais.

Data de aprovação: 17 de Fevereiro de 2023

Dr. Paulo Rodrigo Stival Bittencourt, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Alex Sanches Torquato, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fernando Reinoldo Scremin, Doutorado - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 17/02/2023.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho, impõe a necessidade de agradecer àqueles que de forma direta ou indireta, contribuíram, participaram e incentivaram o seu desenvolvimento. Desta forma, expresso gratidão:

A Deus, por propiciar todas as condições necessárias para a realização desta Pós-Graduação *Stricto Senso*.

Ao ilustríssimo professor Dr. Paulo Rodrigo Stival Bittencourt, pelas orientações e direcionamento das ações voltadas a correta execução dos processos metodológicos e científicos necessários ao desenvolvimento desta pesquisa.

A ilustríssima professora Dra. Edna Possan por contribuir de forma ímpar na solução dos problemas existentes na pesquisa. E ainda, por indicar referenciais teóricos necessários para o desenvolvimento deste trabalho, que tanto favoreceram o desenvolvimento da produção deste conhecimento.

Ao senhor Comandante do 14º Batalhão de Polícia Militar do Estado do Paraná, Ten-Cel. QOPM Adelar Davies, por fornecer os recursos logísticos necessários para a realização dos ensaios mecânicos dos materiais produzidos nesta pesquisa.

À todos todos os meus familiares que de certa forma contribuíram com a minha formação.

RESUMO

A construção civil utiliza aproximadamente 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. Vários estudos apresentam os impactos gerados pela indústria da construção civil sobre o meio ambiente e por isso, o modelo adotado no cenário atual deve considerar o desenvolvimento humano, a inovação tecnológica, o uso e reuso equilibrado de recursos naturais disponíveis e a reinserção dos resíduos na cadeia produtiva, de acordo com o modelo econômico circular. A casca do ovo, possui em sua composição uma camada calcária, composta principalmente de carbonato de cálcio em sua maior parte (cerca de 96%), carbonato de magnésio e fosfato de cálcio, em menores quantidades. Sua utilização na produção do concreto, além de favorecer a destinação de um resíduo, contribui para o aumento da porosidade do concreto, proporcionando maior captura do CO₂. Neste estudo, foram produzidos 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 conforme estudos bibliográficos apresentados. Também restou verificado maior resistência a impactos dos concretos substituídos com casca de ovo na ordem, notabilizado pela menor profundidade e menor área de influência dos impactos de projéteis. As curvas termogravimétricas indicaram maior potencial na captura de CO₂ pelos concretos incorporados com casca de ovo. 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: casca de ovo; valorização de resíduos; concreto; resíduos sólidos.

ABSTRACT

Civil construction uses approximately 40% to 70% of the natural resources on earth, and therefore, it is one of the sectors that cause the greatest environmental impact due to the high consumption of raw materials. Several studies present the impacts generated by the construction industry on the environment and therefore, the model adopted in the current scenario must consider human development, technological innovation, the balanced use and reuse of available natural resources and the reinsertion of waste in the production chain, according to the circular economic model. The eggshell has in its composition a limestone layer, composed mainly of calcium carbonate for the most part (about 96%), magnesium carbonate and calcium phosphate, in smaller amounts. Its use in the production of concrete, in addition to favoring the destination of a residue, contributes to the increase of the porosity of the concrete, providing greater capture of CO₂. In this study, 3 types of specimens were manufactured, where the sand was partially replaced in unit volume, by eggshell, in the percentages of 5, 10 and 20%. Mechanical tests showed a drop in compressive strength values, which can be corrected by reducing the water/cement ratio from 0.60 to 0.40. There was also a greater resistance to impacts of concretes replaced with eggshells in the order of, notable for the smaller depth and smaller area of influence of projectile impacts. The thermogravimetric curves indicated a greater potential for CO₂ capture by concrete incorporated with eggshell. There was also an increase in the porosity of the eggshell concrete, as evidenced by the reduction in density, increased water absorption and higher carbonation rate. In this way, the eggshell has potential for use in activities aimed at the production of concrete for non-structural purposes, attributing value to this solid waste and reducing the pressure exerted on non-renewable natural resources, such as sand in this case. Finally, studies on the replacement of cement by eggshell are recommended, in order to verify the possibility of filling existing voids due to the porosity of the concrete, favoring the increase in strength combined with the other benefits already mentioned in this study.

Keywords: eggshell; waste recovery; concrete; solid waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Agregados Graúdos e Miúdos.....	13
Figura 2 – Relação da resistência a compressão e fator água cimento	16
Figura 3 – Estrutura da Casca do Ovo	27
Fotografia 1 – Casca de ovo sem tratamento	32
Fotografia 2 – Casca de ovo moída	32
Fotografia 3 – Componentes do concreto produzido	34
Figura 4 – Dimensão do corpo de prova cilíndricos	35
Figura 5 – Dimensão do corpo de prova prismático	35
Fotografia 4 – Ensaio de resistência à impactos.....	37
Gráfico 1 – Curva granulométrica.....	40
Figura 6 – Carbonatação do corpo de prova	43
Figura 7 – Análise de carbonatação	43
Gráfico 2 – Curvas TG das matérias-primas	44
Gráfico 3 – Curvas TG dos corpos de prova.....	45
Gráfico 4 – Perda de massa em função da temperatura	46
Fotografia 5 – Ensaio de resistência a compressão	48
Gráfico 5 – Gráfico de resistência à compressão	49
Figura 8 – Representação esquemática das áreas de influência.....	50
Gráfico 6 – Profundidade das perfurações (cm).....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Durabilidade do concreto em função da absorção de água	17
Tabela 2 – Classificação dos resíduos – NBR 1004/2004	18
Tabela 3 – Países principais na produção mundial de ovos	25
Tabela 4 – Composição química da casca do ovo	26
Tabela 5 – Volume de concreto para produção dos corpos de prova	34
Tabela 6 – Composição granulométrica da casca do ovo	39
Tabela 7 – Massa dos corpos de prova (g)	41
Tabela 8 – Densidades dos diferentes corpos de prova	41
Tabela 9 – Determinação da absorção de água	42
Tabela 10 – Valores de perda de massa de CO ₂ pela decomposição térmica ...	47
Tabela 11 – Resistências dos corpos de prova	49
Fonte: do Autor (2022)	49
Tabela 12 – Áreas média de influência (cm ²)	51
Tabela 13 – Média de profundidade (cm)	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 O Controle da água na produção do concreto	14
3.2 O processo de cura	15
3.3 Absorção de água	17
3.4 Impactos ambientais dos resíduos sólidos	18
3.4.1 Impactos ambientais oriundos das indústrias de cimento	19
3.4.2 Impactos ambientais decorrentes da extração da areia	20
3.5 Valorização de Resíduos Sólidos	22
3.5.1 Economia Circular	23
3.6 Caracterizando a casca de ovo	24
3.6.1 Produção mundial e nacional de ovos.....	24
3.6.2 Características físicas e químicas da Casca de Ovo	26
3.6.3 O reaproveitamento da casca de ovo.....	27
3.6.4 As diversas aplicações da casca de ovo	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 Obtenção e preparo da casca do ovo.....	31
4.2 Determinação da composição granulométrica	33
4.3 Produção dos corpos-de-prova	33
4.4 Determinação da absorção de água	36
4.5 Ensaio de resistência a impactos	36
4.6 Ensaio de resistência a compressão.....	37
4.7 Análise de carbonatação	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1 Ensaio granulométrico.....	39
5.2 Análise da densidade dos corpos de prova.....	40
5.3 Teste de absorção de água	42
5.4 Análise de carbonatação	42
5.5 Análise termogravimétrica	44

5.5.1 Potencial de Captura de CO ₂	46
5.6 Resistência a compressão	48
5.7 Resistência a impactos	50
5.7.1 Áreas de influência dos projéteis.....	50
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O setor de construção civil traz grandes contribuições para o desenvolvimento econômico e social do país. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), a construção civil foi responsável por um crescimento de 11,6% do PIB do Brasil, e pela geração de pouco mais de 329 mil empregos no ano de 2010. Por outro lado, esta área é responsável pela geração de impactos ambientais relacionados à geração de resíduos sólidos e exploração dos recursos naturais.

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 adotado no cenário atual deve considerar o desenvolvimento humano, a inovação tecnológica, o uso e reuso equilibrado de recursos naturais disponíveis e reciclagem (CBIC, 2014).

É necessário um olhar atento aos preceitos estabelecidos no artigo 7, II da Lei 12.305 de 2010, que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que tem como um dos objetivos, atingir metas de redução, reutilização e reciclagem, com vistas a diminuição da quantidade de resíduos sólidos que são encaminhados aos aterros sanitários (BRASIL, 2010).

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).

Nos últimos anos, tem se verificado uma busca constante por parte dos pesquisadores, de alternativas para a reciclagem e reutilização de materiais em prol do desenvolvimento sustentável e preservação ambiental. E o setor de construção civil, por ser considerado uma das atividades que mais geram resíduos, vem cada vez mais despertando o interesse para a realização de estudos com vistas a melhoria na destinação dos resíduos gerados e diminuição na exploração dos recursos naturais. Neste sentido, a reutilização e reciclagem de materiais se apresenta como uma grande alternativa, e deste modo, incorporar a casca do ovo a blocos de concreto para uso no setor de construção civil, propicia uma economia de matérias primas 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?

Pretende-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 novo 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 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetivo central desta pesquisa consiste em analisar as propriedades técnicas do concreto produzido com resíduos de casca de ovo como substituto parcial da areia, com vistas o provimento de sustentabilidade ambiental e redução de impactos ambientais.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar comparativos de resistência à compressão entre blocos de concreto constituídos de casca de ovo e blocos de concreto convencionais.
- Identificar o percentual máximo de agregação de casca de ovo na produção dos blocos de concreto;
- Verificar as propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com a casca de ovo, realizando comparativos com o concreto convencional;
- Verificar o comportamento térmico do concreto produzido.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente, é interessante apresentar uma breve caracterização dos materiais. Em se tratando do concreto, ele pode se apresentar em sua forma fresca ou endurecida. O concreto fresco é aquele completamente misturado e que ainda se encontra em seu estado plástico, apresentando capacidade de adensamento e moldagem. Já o endurecido encontra-se no estado sólido tendo deste modo desenvolvido resistência mecânica. É composto pela união do cimento, agregados graúdos e agregados miúdos (ABNT NBR 12655, 2015).

O cimento é um componente essencial na fabricação do concreto, pois atua como aglutinador, colando os demais componentes presentes em sua estrutura, a fim de produzir um material sólido, forte e duradouro (JATHIAL, *et al*, 2019). O Cimento Portland Comum é definido pela ABNT NBR 5732 (1991) como sendo um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, onde se adiciona no processo, uma quantidade específica de sulfato de cálcio. O clínquer Portland é constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas. Sua apresentação se dá em estado de pó fino, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio. Esses componentes, quando associados a água, favorecem o endurecimento da massa, oferecendo resistência mecânica (NEVES, 2021).

Já os agregados são os compostos de maior constituição no concreto. Seu volume pode chegar a 70% dependendo do tipo de concreto a ser utilizado. Deste modo, pode-se perceber que estes componentes exercem grande influência sobre as propriedades físico-mecânicas do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Um estudo desenvolvido por Alhadad (2008) demonstrou que o agregado graúdo exerceu influência significativa na resistência à compressão e no módulo de deformação dos concretos.

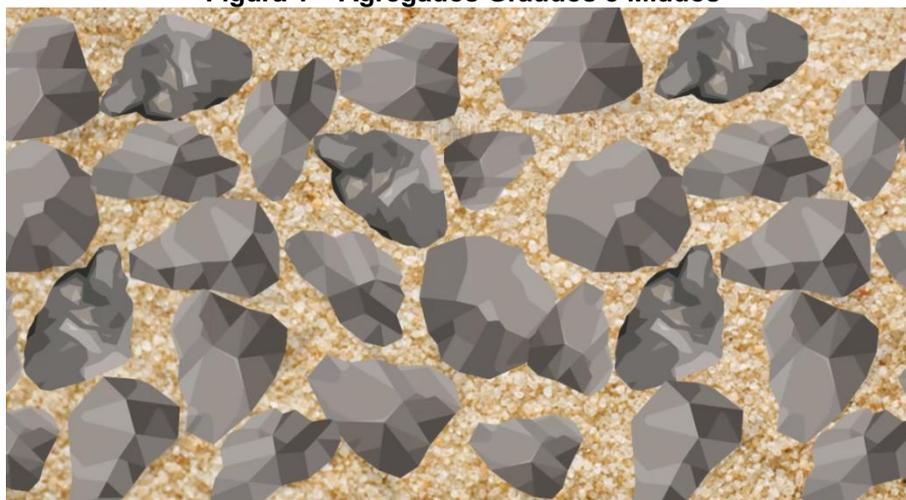
A ABNT NBR 7211 (2009), determina os requisitos exigidos para a produção dos agregados miúdos e graúdos, destinados a produção de concretos de cimento Portland. A referida norma divide os agregados como miúdos e graúdos, de acordo com o diâmetro dos grãos. Para efeitos de definição, é considerado um agregado miúdo o material “cujos grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150µm. O agregado miúdo mais utilizado em argamassas de revestimento é a areia, que é retirada dos rios e é composta basicamente de quartzo. Já os agregados graúdos, são aqueles

cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,65mm.

Conforme Dal Molin (1995), a distribuição granulométrica dos agregados afeta a compactação dos demais grãos, podendo acarretar uma alteração na fração de volume de agregado a ser incorporada ao concreto. Uma distribuição granulométrica contínua tem a capacidade de fornecer maior compactação dos componentes da mistura, promovendo maior resistência à compressão, ou seja, quanto maior o grau de empacotamento e compactação dos grãos, maior a resistência do concreto, no que se refere a compressão, razão pela qual, será realizado a distribuição granulométrica da casca do ovo, após o processo de moagem.

A figura abaixo, exibe um modelo esquemático da estrutura do concreto, onde os agregados miúdos preenchem os vazios deixados pelo agregado graúdo.

Figura 1 – Agregados Graúdos e Miúdos



Fonte: Autoria própria (2021)

A quantidade de agregado graúdo utilizado no concreto também colabora para a melhoria na resistência à compressão do concreto. Aumentando-se a porcentagem de agregado graúdo, até um ponto limite, também aumenta-se a resistência à compressão do concreto. Isto foi observado por Meddah *et al.* (2010), em uma pesquisa destinada a avaliar os efeitos do conteúdo e da distribuição granulométrica do agregado graúdo na resistência a compressão do concreto.

Portanto, a respeito do que fora apresentado, percebe-se a importância dos agregados, para a qualidade do concreto a ser produzido, razão pela qual faz-se necessário um estudo adequado para avaliar as características físicas e mecânicas do uso da casca do ovo como agregado miúdo.

3.1 O Controle da água na produção do concreto

É importante também, no contexto da produção do concreto, considerar a relação água/cimento. Considerada como um solvente universal, ela é indispensável na preparação do concreto. Segundo Barros (2016), a sua correta dosagem, interfere diretamente nas reações químicas da mistura, e, portanto, nas características de resistência e durabilidade do material.

A água, é parte fundamental no processo de pega (endurecimento) do cimento, e faz com que ocorra reações químicas destinadas a melhoria da capacidade de resistência e durabilidade do produto originado, o que conseqüentemente reflete em sua qualidade (LEVY & HELENE, 1996).

Outro aspecto ligado à sua importância, reside no fato de que o cimento consome aproximadamente 19% de seu peso em água para formar cristais sólidos, que são essenciais no provimento de resistência mecânica do concreto. O líquido também interfere na trabalhabilidade do concreto, fazendo com que a mistura adquira caráter plástico a fim de ser aplicados em formas para fins de molde. A falta do controle da água, é um dos principais motivos que levam a fissuras no concreto, em razão da retração que acontece durante o endurecimento da peça. A ausência do líquido, ainda dificulta o processo de adensamento, provocando falhas na concretagem. Portanto, o autor adverte que durante o processo de preparação do concreto, jamais deverá ser adicionado água sem o devido controle e observância rigorosa das normas técnicas. O processo de preparação deve garantir que a quantidade de água seja exatamente a necessária, sem excesso e sem falta (BARROS, 2016).

Para Aitcin (1998), a relação água/cimento separa os concretos comuns dos não convencionais, sendo a relação 0,40 a 0,60 um fator limitante. Quando esta relação se afasta demasiadamente destes valores, ocorrem diferenciações no que se refere à resistência mecânica do concreto.

Ainda, neste contexto, deve ser considerada a qualidade da água no processo de produção do concreto. A presença de matéria orgânica faz com que haja influência negativa na durabilidade das estruturas ou aparecimento de manchas. A ABNT NBR 15.900 (2009) foi criada especificamente para tratar do assunto relacionado a água destinada a fabricação de concretos. De modo geral, a água proveniente do abastecimento público cumpre os requisitos necessários exigidos pela norma.

3.2 O processo de cura

O processo de cura, possui fundamental importância na produção do concreto. Barros (2016) explica que a ausência de cura – procedimentos necessários para minimizar a perda de água – influencia de forma negativa a qualidade do concreto. Portanto, a hidratação do cimento por longos períodos é de extrema importância.

A cura do concreto, é um método na qual adotam-se procedimentos a fim de que a água do incorporada ao concreto não evapore de suas regiões superficiais. A cura do cimento é essencial para que o concreto atinja o melhor desempenho. Levy & Helene (1996), explicam que os danos causados ao concreto devido à ausência de cura, não será a redução da resistência à compressão. Sua falta, reflete principalmente na durabilidade das estruturas, contribuindo para o desenvolvimento de camadas superficiais porosas e com baixas resistências ao ataque dos agentes agressivos.

No processo de hidratação do cimento, ocorre uma reação química, originando-se produtos que possuem característica de pega (endurecimento). Segundo Levy & Helene (1996), a referida reação ocorre por meio dos mecanismos de dissolução/precipitação, onde há a dissolução de compostos anidros em constituintes iônicos e topoquímicos, na qual as reações ocorrem diretamente na superfície dos componentes anidros sem entrar em solução. Geralmente, em condições normais de temperatura, de aproximadamente 23° C, em 28 dias, a hidratação do concreto pode chegar a 75%. Para se alcançar a marca dos 100%, são necessários 50 dias no mínimo.

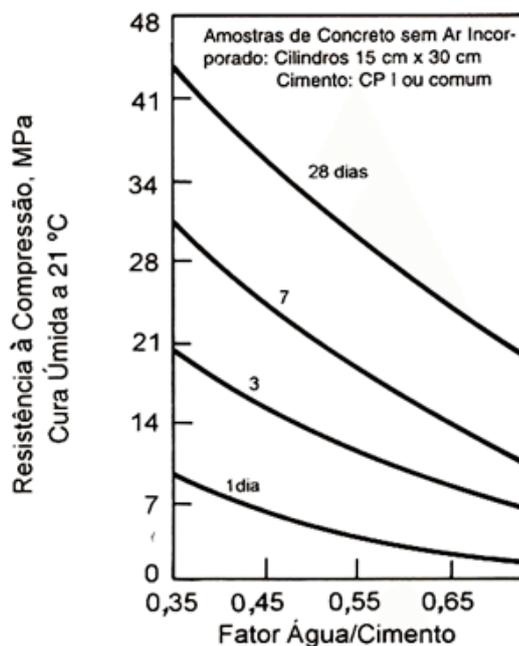
Como já dito anteriormente, a água é necessária para que haja o endurecimento do concreto. Ocorre que parte dela é consumida internamente nas reações químicas já citadas, o que acarreta perda significativa deste componente. Desta forma, a partir da cura úmida, é possível viabilizar a entrada de água no concreto. Assim, após o endurecimento do concreto, será possível fornecer ao material uma baixa absorção de água, alta resistência à carbonatação e à difusão de íons, resistência física e durabilidade. A partir destas informações, é possível elencar alguns objetivos principais do processo de cura, quais sejam: *evitar a perda de água precocemente, realizar o controle de temperatura do concreto até que se alcance a*

resistência almejada e promover o suprimento de água extra necessárias para as reações de hidratação (LEVY & HELENE, 1996).

Existem diferenciadas maneiras de realização da cura do concreto. Tal processo pode ser realizado a partir do represamento ou imersão do material (geralmente utilizado para realização da cura de corpos de prova, por apresentarem menores dimensões); borrifamento ou neblina de água sob a superfície de concreto; uso de revestimentos saturados que tenham a capacidade de reter umidade; e cura acelerada (quando há a necessidade de agilizar o ritmo da obra), que consiste no aquecimento de formas com a utilização de vapores d'água em temperaturas de 70° a 80° C (LEVY & HELENE, 1996).

Um estudo de Mehta & Monteiro (2008), relacionou a influência da relação água/cimento com a resistência a compressão do concreto em diferentes dias de cura. A figura abaixo, demonstra o resultado obtido em suas análises.

Figura 2 – Relação da resistência a compressão e fator água cimento



Fonte: Mehta & Monteiro (2008)

Como observado, o aumento do tempo de cura do concreto contribuiu para a melhoria da capacidade de resistência a compressão, atingindo o melhor índice aos 28 dias. Também não pode deixar de apontar a influência da relação água/cimento neste processo.

3.3 Absorção de água

A absorção de água no concreto, representa a relação entre a massa total de água absorvida pelo corpo de prova em seu estado saturado, e sua massa seca. De forma geral, quanto maior a densidade do corpo de prova, menor será sua absorção de água.

Em inúmeros experimentos, Helene (1983), conseguiu relacionar a durabilidade do concreto em relação aos índices de absorção de água, a partir da imersão, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Durabilidade do concreto em função da absorção de água

Classificação do concreto	Teor de Absorção de água
Durável – Alto desempenho	$\leq 4,20\%$
Convencional	$4,20\% \leq a \leq 6,20\%$
Deficiente	$\geq 6,20\%$

Fonte: Helene (1983)

Como já fora dito em subseções anteriores, a presença de água no concreto é essencial, tanto em sua moldagem quanto no processo de cura. E como visto, isto está diretamente ligado a sua durabilidade. Ainda, a capacidade do concreto de resistir às agressões associadas e penetração da água, promove grande influência na qualidade do material. A propriedade responsável por favorecer a penetração de água no concreto é denominada como capilaridade. Tal aspecto diz respeito a tendência dos líquidos em se deslocarem no interior do material poroso, entre espaços ínfimos (PEDROZA, *et al*, 2019).

As principais características do concreto estão relacionadas com a sua capacidade de absorção de água. Assim sendo, a realização de ensaios de absorção é fundamental. Para tanto, a ABNT NBR 9778 (2009), trata especificamente da determinação da absorção de água em concretos endurecidos. A referida norma prescreve o ensaio de absorção de água a partir da imersão do corpo de prova, para determinar sua massa saturada, e posteriormente a secagem do corpo de prova em estufa a 105°C para determinação de sua massa seca. A absorção de água por imersão acontece quando a água começa a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso, neste caso, o concreto. Deste modo, a realização do ensaio conforme preconiza a norma é fundamental para a avaliação do concreto no que diz respeito a sua utilização, o que contribui para garantir qualidade e durabilidade do material.

3.4 Impactos ambientais dos resíduos sólidos

São considerados resíduos, qualquer sobra de materiais após o processo de transformação ou utilização. Inúmeros são os resíduos gerados nos setores alimentícios que utilizam o ovo como matéria prima.

A NBR 10004 (2004), conceitua o significado de resíduos sólidos como: “resíduos nos estados sólido e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”. Ainda, esta norma, traz classificações no que diz respeito a periculosidade de um resíduo, podendo este atuar como agente tóxico em diversos níveis. Dentre as diversas formas de toxicidade, o descarte inadequado de resíduos orgânicos, pode transformar este resíduo em um agente ecotóxico, apresentando riscos para um ou mais compartimentos ambientais. A tabela 2, exibe a classificação dos resíduos, conforme a referida norma.

Tabela 2 – Classificação dos resíduos – NBR 1004/2004	
Classe I – Perigosos	Apresentam periculosidade ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.
Não perigosos Classe II A – Não-Inertes	Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Não perigosos Classe II B – Inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: ABNT (2004)

Para efeitos de classificação, os materiais utilizados no desenvolvimento desta pesquisa, são classificados como Classe II A.

De acordo com a resolução CONAMA (1986), Impacto Ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população.

Nesse sentido, percebe-se que o descarte inadequado de resíduos, pode causar impactos significativos para o meio ambiente.

Em 1997, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento já discutia os impactos dos resíduos sólidos, ao verificar que produção de resíduos sólidos é cada vez mais crescente, trazendo consequências para o ambiente e para a saúde humana. A extração dos recursos naturais para a produção de bens é muito superior a capacidade de suporte do planeta, por isso é urgente a necessidade do uso racional dos recursos naturais, meta ainda distante no cenário atual (AGENDA 21, 1997).

3.4.1 Impactos ambientais oriundos das indústrias de cimento

As indústrias de cimento são responsáveis pela emissão de aproximadamente 7% do dióxido de carbono (CO₂) a nível global, isto porque no processo de fabricação ocorre a queima de combustíveis fósseis e calcinação do calcário para a fabricação do clínquer. Sabe-se que o CO₂ ocasiona prejuízos para a atmosfera, a medida em que intensifica o fenômeno do efeito estufa, colaborando para o aumento da temperatura média do planeta. Para reduzir emissões, o setor pode valer-se da redução do teor de clínquer, capturando CO₂ em materiais cimentícios, a partir do processo de carbonatação (TSAI, *et al.*, 2006).

As mudanças de clima em nosso planeta, tem se intensificado nos últimos anos em razão das ações antrópicas relacionadas ao desmatamento e emissões de gases de efeito estufa. O CO₂ é um dos principais gases que contribuem para o agravamento deste problema. Corroborando com as afirmações do parágrafo anterior, Mazurana *et al* (2021) também afirmam que as indústrias de cimento são responsáveis pelo aumento das emissões globais de gás carbônico na atmosfera ao nível de 7%.

Estudos científicos afirmam que 1 tonelada de cimento produzido, emite aproximadamente 0,6 tonelada de CO₂ na atmosfera, razão pela qual há a necessidade de mitigar tais efeitos que desequilibram a dinâmica gasosa do planeta. Ainda, para se produzir o cimento, há a necessidade do uso do calcário, produto que pode ser encontrado na casca do ovo. Assim, percebe-se que há a necessidade do desenvolvimento de técnicas que favoreçam a sustentabilidade na indústria da construção civil, visto que a produção de cimento em nível mundial tem aumentado

constantemente ao longo dos anos. A casca de ovo é um dos resíduos que pode ser utilizado na incorporação do cimento para a produção do concreto (JHATIAL *et al.*, 2019).

As emissões de CO₂ no processo de fabricação do cimento se dá em razão do alto consumo de combustíveis fósseis que são necessários para a sua produção. Deste modo, acaba sendo considerado como o responsável por 3% das emissões mundiais dos gases causadores do efeito estufa. O Brasil, em 2014, emitiu cerca de 39.872.000 toneladas de CO₂ no processo de fabricação do cimento (DIAS, F. *et al.*, 2021).

3.4.2 Impactos ambientais decorrentes da extração da areia

Pode ser questionada a ideia da substituição da areia no processo de produção do concreto, tendo em vista que este é o material de menor custo financeiro quando comparado com os outros componentes, como o cimento e a pedra. No entanto, ao fazer isto, limita-se a pesquisa a um viés puramente econômico, deixando de proceder um olhar de sustentabilidade ambiental, que é o objetivo central deste trabalho. Deve-se lembrar que além de dar vazão a geração dos resíduos, esta análise objetiva a redução da exploração dos recursos naturais.

No dia 26 de agosto de 2019, a BBC noticiou 4 recursos naturais que estão em vias de desaparecer, dentre eles encontra-se a areia. O uso da areia é muito mais rápido do que sua renovação. Os processos de intemperismo e desagregação de rochas que são responsáveis pela formação de bancos de areia, são processos que podem levar milhões de anos para acontecer. Considerando que a areia é um dos materiais sólidos mais explorados do mundo, o risco de esgotamento deste recurso torna-se iminente. Deve-se considerar que não é somente o setor de construção civil que utiliza da areia em suas atividades econômicas, pois ela também é necessária em outras atividades como, filtragem de água, fabricação de vidros, recuperação de terras etc (BBC, 2019).

Um artigo publicado na Revista Science, intitulado “Uma tragédia iminente dos comuns de areia” informa que o aumento da extração, comércio e consumo de areia representam desafios globais de sustentabilidade. No último século, o volume de areia utilizado aumentou em 23 vezes, em razão dos fatores relacionados a urbanização, já que é um ingrediente chave na construção civil. Hoje, sua extração supera a dos

combustíveis fósseis, colocando cada vez mais pressão nos depósitos de areia. A areia, por ser um recurso de uso comum e facilmente disponível, pode ser extraído de forma egoísta sem considerar as consequências a longo prazo. Isto resulta em sua escassez cujas implicações podem ser notadas no campo social, econômico, político e ambiental (TORRES *et al.* 2017).

Quanto às implicações ambientais, a extração de areia de rios, praias e fundo do mar afeta a integridade do ecossistema, degradando os corais, algas marinhas, ervas marinhas através de sua remoção direta. Esse processo ainda causa a redução da disponibilidade de luz por conta da sua suspensão deste material, o que compromete as atividades fotossintetizantes resultando e redução da diversidade (PEDUZI, 2014).

As extrações intensivas realizadas em litorais podem propiciar o surgimento de erosões que resultam em desestabilização dos rios. Também prejudica a segurança hídrica e alimentar do ser humano, visto que a erosão induzida pela extração degrada as áreas ribeirinhas e costeiras, interrompendo a produtividade de peixes, e ainda, é responsável por uma maior intrusão salina em regiões produtoras de alimentos no Sudeste Asiático. No Sri Lanka por exemplo, a intrusão de água salgada devido a intensa extração de areia afetou o abastecimento de água potável e promoveu um sério declínio na produtividade da cultura do coco e borracha em razão da salinização de terras produtivas (ANTHONY, *et al.* 2015).

Alguns estudiosos apontam prejuízos à saúde humana decorrente da prática de extração de areia em áreas de rios e leitos de riachos. Nestes locais, surgem piscinas de água parada que favorecem a reprodução de mosquitos transmissores de doenças, a exemplo do que ocorreu no Irã com a disseminação da Malária (AHMADI, 2013).

Além dos impactos ambientais, são observáveis conflitos sociais e políticos decorrentes das atividades de extração de areia. Os altos lucros oriundos do comércio deste material levam a tensões políticas entre nações. Na Índia, a “Máfia da Areia” é considerada um dos mais poderosos e violentos grupos do crime organizado e foi responsável pela morte de centenas pessoas na “Guerra da Areia”. Para obter terras para projetos de recuperação, a Cingapura depende da importação de areia de países vizinhos. Estes países exportadores acabam perdendo areia e sofrendo as consequências desta escassez, gerando tensões políticas e acusações de extrações ilegais (PEDUZI, 2014).

Esses fatores apresentados apresentam implicações de forma globalizada, e requer ações direcionadas para a solução de tais problemas. Assim, surge a necessidade do uso consciente deste recurso natural. Deste modo, a incorporação de resíduos em concretos segue o objetivo de preservação deste material, com vistas a sustentabilidade.

3.5 Valorização de Resíduos Sólidos

Um dos maiores desafios do século XXI é reduzir os milhões de toneladas de lixo produzido pelo homem. A produção excessiva de resíduos, aliado à ausência de um gerenciamento racional, afeta a sustentabilidade ambiental. Sua redução depende de uma conscientização ambiental ampla aliada às técnicas que ofereçam ao resíduo determinado valor econômico.

A valorização dos resíduos sólidos no Brasil ainda se dá de maneira muito incipiente, se restringindo muitas vezes em reciclagem de resíduos secos (papéis, plásticos, vidros e metais), não abrangendo a diversa gama de materiais que são descartados diariamente no planeta. Ainda assim, não são todos os tipos de resíduos desta categoria que são reciclados, a exemplo de determinados metais e vidros que ainda não possuem uma técnica adequada de valorização. A exemplo do concreto, objeto de estudo deste trabalho, são poucos locais que realizam um reuso efetivo de resíduos oriundos da demolição de construção civil. No dia 5 de novembro de 2021, a Câmara Municipal de Foz do Iguaçu-PR, debateu em audiência pública a necessidade de solução para os resíduos de construção civil, tendo em vista a urgente necessidade da adoção de soluções para a crise ambiental enfrentada pelo município em razão da quantidade de resíduos gerados por esse setor. Mesmo diante da existência de Lei Municipal desde 2010 para tratar de assuntos referente a gestão dos resíduos sólidos de construção civil, ainda não existe técnicas adequadas voltadas para a sua valorização ambiental (CMFI, 2021).

O grande problema se dá em razão do ciclo do uso de materiais pelo campo econômico ainda seguir no caminho contrário ao da sustentabilidade ambiental, resumindo-se em fatores de cadeia linear como: extração, produção e descarte. Assim, surge a necessidade de se adotar um modelo de economia que favoreça o ambiente, de modo que não comprometa também as atividades econômicas que também têm sua importância. Basicamente, é o que representa o conceito de

desenvolvimento sustentável. Da mesma forma em que há limitação da quantidade de recursos naturais disponíveis no plante, também há a limitação de espaço para a alocação dos resíduos oriundos do seu uso. Deste modo, faz-se necessário abandonar a economia linear e buscar uma economia circular dos recursos renováveis. Atualmente, um modelo de gestão de resíduos inovador é caracterizado pelo ciclo da extração, utilização e reinserção dos resíduos na cadeia de produção. É o que chamamos de economia circular (SANTOS, 2017).

3.5.1 Economia Circular

A economia circular é um conceito recente, o qual foi construído em contraponto ao modelo econômico linear que já atingiu o seu limite. O modelo linear tem se mostrado ineficaz para o enfrentamento dos diversos problemas ambientais que assolam o planeta, a exemplo da escassez hídrica, perda da biodiversidade, exaustão dos recursos naturais, dentre outros, visto que este modelo está preocupado apenas na redução de custos, sem uma visão ampla de longo prazo, que nada favorece a geração de valores econômicos diferenciados no mercado. Um dos caminhos para superar esse impasse, é a adoção de uma economia associe o crescimento econômico com a restauração do capital natural. Deste modo, surge o conceito de Economia Circular, que otimiza a produção de recursos e minimiza os riscos a partir de fluxos renováveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDANTION, 2017).

No modelo econômico circular, três princípios são observados, conforme apresentado pela Confederação Nacional da Indústria (2018):

1. Preservar e aprimorar o capital natural, com a restauração e regeneração dos recursos naturais;
2. Otimizar os rendimentos dos recursos naturais promovendo a circulação de produtos, componentes e materiais sempre em seu nível máximo de utilidade em seus ciclos técnicos e biológicos; e,
3. Melhorar a efetividade do sistema através da identificação e entendimento das externalidades negativas.

A preservação do capital natural não nos é apresentada como primeiro princípio por acaso. É ele quem norteia o objetivo central da economia circular. A preservação ambiental vem antes de tudo, mas isso não diminui a importância dos princípios seguintes, que também são fundamentais.

Otimizar o rendimento dos recursos significa em melhorar a sua taxa de aproveitamento. Esta ideia tem sido empregada no Brasil há cerca de 30 anos, onde observou-se um aumento da produtividade dos processos que extraem 40% mais do valor econômico das matérias-primas. No entanto, esse processo era empregado sob a ótica do simples aproveitamento do produto e não do subproduto originário no processo. No modelo econômico circular, essa perspectiva vai um pouco mais além, pois abrange a reinserção dos subprodutos originários dos recursos na cadeia produtiva (UNIDO, 2013).

Assim, o reaproveitamento do resíduo de ovos, constitui em um favorecimento aos princípios pleiteados pelo modelo econômico circular, visto que dará a possibilidade de reinserção de seu subproduto na cadeia produtiva, viabilizando a preservação ambiental e aprimorando o capital natural existente no planeta.

3.6 Caracterizando a casca de ovo

A fim de contextualizar a importância da reutilização da casca do ovo em produtos cimentícios, foram investigadas as quantidades de produção deste resíduo no Brasil e no mundo. Também, será apresentada a caracterização física e química deste material e suas contribuições frente a mitigação de impactos ambientais.

3.6.1 Produção mundial e nacional de ovos

Além dos impactos ambientais, o não reaproveitamento da casca de ovo pode afetar negativamente os aspectos econômicos de determinada comunidade. O Instituto Nacional de Estatística de Portugal, em 2015 apontou que neste país, houve uma produção de 145.428 toneladas de ovos de galinha. Considerando que 10% do peso do ovo de galinha é atribuído a sua casca, estima-se que nesse período, houve a geração de aproximadamente 16.000 toneladas de casca de ovo. Tal resíduo, que era descartado em aterros sanitários locais, representava um custo médio de 120 euros/tonelada. Nesse sentido, a reutilização deste resíduo, além de promover um valor ambiental, propicia um valor econômico para a sociedade (SILVA, 2017).

O ovo de galinha, é um alimento consumido mundialmente, e portanto, não é difícil imaginar que há uma grande geração deste tipo de resíduo. A Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB) estimou que a produção mundial

de ovos no ano de 2011 foi de aproximadamente 1,220 trilhão de unidades ao ano. Entre os países produtores de ovos, a China, Estados Unidos da América, Índia, México, Rússia e o Brasil estão na liderança. (SEAB, 2013). Observe os dados na tabela 3, onde apresenta-se os dados dos países mais relevantes no que diz respeito a produção de ovos.

Tabela 3 – Países principais na produção mundial de ovos

Países/Ano	2003	2006	2011
China	403.600	418.718	482.974
EUA	87.473	91.800	91.855
Índia	40.403	50.663	63.500
Japão	42.173	41.611	41.900
México	37.451	45.801	47.623
Rússia	36.296	37.651	40.731
Brasil	31.423	35.207	40.731
Total	1.021.583	1.088.225	1.219.900

Fonte: SEAB (2013)

De acordo com os dados apresentados, o Brasil experimentou um crescimento de 29,62% na produção nacional de ovos, entre 2003 e 2011. Entretanto, em 2017, dados do IBGE, apontaram que o Brasil produziu 44 milhões de dúzias de ovos. A produção deste produto no país, ocorreu nas regiões Sudeste (43,5%), Sul (24,3%), Nordeste (16,8%), Centro-Oeste (11,8%) e região Norte (3,6%). Aproximando estes dados à realidade local, o Paraná é responsável por 11% da produção. Desta forma, percebe-se que o Brasil é responsável por 3% da produção mundial de ovos, o que coloca o país em 5º lugar no ranking de internacional (IBGE, 2017).

Dados mais recentes, divulgados pela Associação Brasileira de Proteína Animal em 2021, revelaram que a produção brasileira de ovos em 2020, foi superior a 53 bilhões unidades por ano. Em relação ao consumo, este situou-se próximo dos 251 ovos por habitante. O Estado de São Paulo, é o maior produtor do país, com cerca de 1,14 bilhões de dúzias produzidas ao ano. O Paraná ocupa a segunda colocação no ranking nacional, com aproximadamente 360 milhões de dúzias (BRITO, 2021).

Considerando os dados mais recentes, sabendo que a casca do ovo corresponde a 10% do seu peso total¹, isso representa a nível nacional, uma geração aproximada de 345.000 toneladas de casca de ovos no país. A geração para o Estado

¹ Os valores de massa do ovo de galinha variam de 60-70 gramas, sendo considerado para este estudo, o valor de 65 gramas, conforme Nascimento *et al.* (2015).

do Paraná, situa-se próximo das 26 mil toneladas de casca de ovos. Assim, percebe-se que há uma expressiva geração deste tipo de resíduo em âmbito nacional e estadual.

3.6.2 Características físicas e químicas da Casca de Ovo

A casca do ovo, possui em sua composição cerca de 40% de cálcio (Ca) na forma de carbonato de cálcio (CaCO_3), e outros minerais em menores concentrações como magnésio (Mg) estrôncio (Sr), ferro (Fe), selênio. O carbonato de cálcio, principal componente, é um cristal que ocorre naturalmente na forma de calcita, em cristais na forma hexagonal. Sendo insolúvel em água, é possível utilizá-lo como agregado em materiais cimentícios (MILBRADT, *et al*, 2015).

Estão apresentados na tabela 4, os principais componentes químicos presentes na casca do ovo, o que importam para este estudo.

Tabela 4 – Composição química da casca do ovo

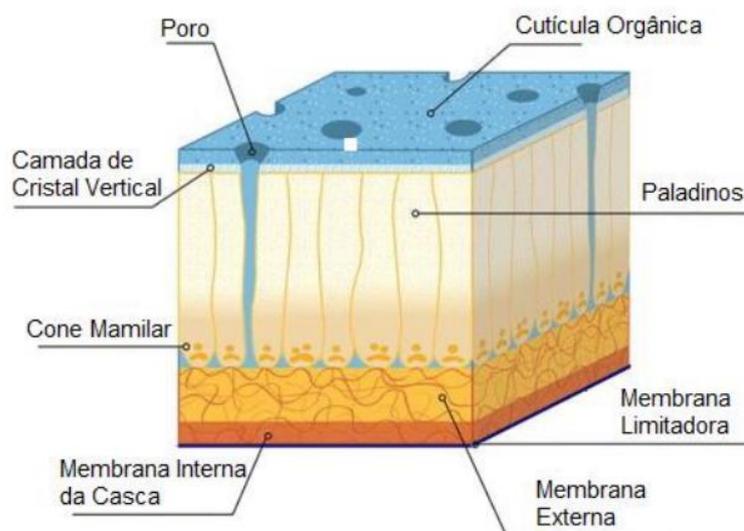
Componentes	%
Carbonato de Cálcio (CaCO_3)	94% - 97%
Magnésio (Mg)	0,2% - 1,0%
Fosfato de Cálcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)	0,2% - 1,0%
Materiais Orgânicos	2% - 3,3%
Sódio (Na), Potássio (K), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Manganês (Mn)	0,10%

Fonte: FCTUC (2017)

Trata-se de um material orgânico, amplamente utilizado no consumo doméstico, industrial e comercial, em razão de inúmeros derivados que podem ser obtidos a partir de sua utilização. O descarte inadequado deste resíduo, pode acarretar problemas ao meio ambiente em larga escala (GURU & SUKALYAN, 2014).

Quanta as características físicas deste material, a casca de ovo apresenta uma camada protetora que auxilia na proteção dos embriões em desenvolvimento, desempenhando papel fundamental na troca de gases e no fornecimento de cálcio. A sua casca, é considerada um composto biocerâmico cuja função é proteger o conteúdo do ovo e garantir o cálcio necessário para a formação do esqueleto do pinto. As várias camadas existente na casca, permite a permeabilidade da água e dos gases necessários para o fornecimento de oxigênio para o embrião. Na figura 3, está representado a estrutura típica da casca de ovo (CAMARATTA, *et. al* 2013).

Figura 3 – Estrutura da Casca do Ovo



Fonte: Camaratta *et al* (2013)

3.6.3 O reaproveitamento da casca de ovo

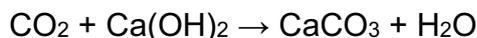
Estima-se que são descartadas no mundo, aproximadamente 7,2 milhões de toneladas de cascas de ovos. O descarte inadequado deste resíduo é prejudicial ao meio ambiente, visto que em razão de sua composição orgânica, pode atrair animais roedores, baratas, formigas e outros insetos, servindo de alimento para esses animais que são potenciais vetores de diversos tipos de doenças, a exemplo de Chagas, esquistossomose, malária, dengue, raiva, leptospirose etc (CARDOSO, 2017).

Conforme apresentado por Raji e Samuel (2015), as cascas de ovos, são geralmente jogadas no lixo, e acabam sendo descartados em aterros sanitários. Nesse processo, não há um tratamento adequado, e esses resíduos acabam apresentando um potencial de poluição ambiental, em razão da sua composição química. O seu descarte contínuo, aumenta o número de aterros sanitários causando problemas ambientais por todo o mundo.

A casca de ovo, apresenta um valor econômico e ambiental bastante significativo, isso pelo fato de conter um teor considerável de proteínas, sais minerais e ainda, pelo fato de seu uso servir como fonte alternativa de CaCO_3 (carbonato de cálcio). Seu uso em materiais cimentícios pode reduzir a pressão e impactos sobre as reservas naturais de rocha calcária – fonte não renovável – além de reduzir a poluição que interfere diretamente nas questões de saúde pública, como ocorre quando quaisquer tipos de resíduos são descartados incorretamente no meio ambiente. O seu

reaproveitamento também contribui para a diminuição da pressão em aterros sanitários, favorecendo e ampliando sua vida útil (FREIRE, et al. 2008).

Alguns estudos foram realizados com vistas a verificar a absorção de CO₂ da atmosfera por meio de materiais de construção, como o concreto por exemplo. Isto porque, materiais cimentícios podem capturar o dióxido de carbono ao longo do tempo através do processo de carbonatação, compensando de forma parcial as emissões deste gás na produção do cimento. Um estudo realizado por Mazurana *et al* (2021), cujo objetivo foi avaliar a capacidade de captação de CO₂ em argamassas produzidas com resíduos reciclados de construção, demonstrou que o CO₂ capturado em materiais cimentícios ocorre devido à reação de carbonatação. Os autores afirmam que o aumento da porosidade do concreto melhora o processo de difusão do CO₂, o que acarreta maior captura de CO₂. Ainda, os autores deste estudo explicam que o processo de carbonatação ocorre por causa da reação entre o CO₂ na atmosfera e o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), conforme equação a seguir.



A capacidade de absorção do CO₂ está ligada a composição do cimento, notadamente em razão de sua relação água/cimento e porosidade.

Um estudo realizado por Silva (2017), cujo objetivo foi verificar a viabilidade da aplicação da casca de ovo incorporado a argamassa, verificou que tal resíduo contribuiu para o aumento da relação água/ligante, fornecendo uma boa trabalhabilidade do cimento. Também provocou um decréscimo no módulo de elasticidade do material final, diminuindo o processo de fendilhação em razão de retrações. Ainda, o referido estudo aponta que a incorporação da casca de ovo, aumentou a porosidade da argamassa, o que contribuiu para diminuição de sua massa volumétrica, aumento de permeabilidade ao vapor de água, e consequentemente de outros gases como CO₂ e redução da sua condutibilidade térmica.

Outro estudo, realizado por Fan (2007, apud Oliveira, 2009), constatou que as cascas de ovos podem ser utilizadas para a captura de CO₂ durante uma reação que produz hidrogênio. O carbonato de cálcio, presente neste resíduo, possui uma boa capacidade absorvente. Durante o processo de calcinação, o carbonato de cálcio se

decompõe em óxido de cálcio, tendo assim a capacidade de absorver alguns tipos de gases ácidos, a exemplo do CO₂.

Tan *et al* (2018, p. 665), realizou substituições do cimento pelo pó da casca do ovo, e concluiu que este resíduo melhorou a resistência à compressão e flexão do concreto em até 51,1% e 57,8% respectivamente, quando curado com água. No entanto, percebeu uma gradativa redução na resistência à compressão do concreto curado em soluções alcalinas, visto que a casca do ovo contém grandes quantidades de cálcio, e à medida que o concreto reage com a solução alcalina, as ligações na pasta diminuem, e portanto, a resistência também.

Yerramala (2014), afirma que pesquisas a respeito da composição química da casca do ovo, descobriram que ela possui uma quantidade de óxido de cálcio (CaO) bastante semelhante a existente no cimento. O CaO tem papel fundamental na resistência do cimento. A alta quantidade de CaO presente na casca do ovo, significa que ele pode apresentar um bom potencial a ser utilizado como material cimentício suplementar.

Além disso, a casca de ovo apresenta uma estrutura porosa, o que é propício para garantir a resistência do concreto contra impactos. Em razão desta porosidade, este biomaterial apresenta um módulo de Young tão elevado quanto o do aço, ou seja, com alta rigidez, mas com um peso bastante baixo. Tal porosidade ainda, permite trocas gasosas mais eficiente entre o meio exterior e interior.

O estudo de Jhatial *et al* (2019) teve como objetivo verificar o efeito da substituição parcial do cimento por casca de ovo, no que diz respeito a resistência à compressão do concreto. As conclusões apontaram que a casca de ovo pode ser utilizada como material cimentício complementar, reduzindo a quantidade de cimento no concreto, em substituição de no máximo até 10%, sem que haja queda significativa da resistência à compressão. O referido estudo também concluiu que a finura dos materiais cimentícios complementares, influenciam muito as propriedades mecânicas do concreto, visto haver o preenchimento dos espaços vazios presente no material. Assim, restou verificado que o pó da casca de ovo com finura de 50 microns, forneceu o melhor desempenho no desenvolvimento da resistência à compressão.

3.6.4 As diversas aplicações da casca de ovo

Apesar de se conhecer o potencial de aproveitamento da casca de ovo, o seu descarte é muito variável. Primeiramente, é necessário apontar que o uso doméstico é responsável por grande parte do descarte em aterros sanitários, visto que estes resíduos são descartados em lixeiras comuns, e a maioria das pessoas tendem a não fazer o seu reaproveitamento consciente.

O uso da casca de ovo como fertilizante é um dos principais destinos dado a este resíduo sólido. No entanto, tendo em vista a sua composição orgânica, faz-se necessário realizar um tratamento térmico superior a 80° C, a fim de reduzir a contaminação do pó de sua casca por micróbios (OLIVEIRA, *et al.* 2009).

Oliveira *et al* (2013) e Quina *et al* (2016) descrevem algumas aplicações da casca de ovo segundo dois critérios: a) o de baixo investimento econômico e tecnológico que geram produtos de baixo valor, a exemplo das aplicações no setor da agricultura como corretivo alcalinizante, como fertilizante agrícola, e como fonte de cálcio para galinhas poedeiras favorecendo o aumento da produção de ovos e a qualidade de suas cascas. É comum também o uso da casca de ovo para a suplementação de ração animal; b) As de alto investimento compreendendo a produção de fármacos humanos, suplementos de cálcio, produção de cosméticos, aprisionamento de CO₂, adsorvente de metais pesados para a remoção de metais pesados em cursos d'água e solo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O método consistiu na produção blocos de concreto com dois padrões distintos: 1) padrão convencional, que servirá de comparativo para 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.

A casca de ovo, após o processo de moagem, foi submetida a secagem em estufa por no mínimo 48 horas, para retirada da umidade e posterior pesagem da matéria seca conforme NBR NM 248 ABNT (2003).

Para análise das propriedades físicas do material, foi realizada a sua distribuição granulométrica, utilizando-se para tanto, 9 peneiras com diferentes aberturas de malha. O objetivo é obter uma granulometria máxima de 4,75mm, a fim de que o material em questão seja utilizado como agregado miúdo, conforme preconiza a NBR 7211 ABNT (2009) e NBR NM 248 ABNT (2003). Além disso, este procedimento é necessário para que se verifique a curva granulométrica e o módulo de finura do agregado, com vistas a posterior aceitação do produto como agregado miúdo de qualidade.

4.1 Obtenção e preparo da casca do ovo

As cascas de ovos, foram obtidas em diversos estabelecimentos comerciais da cidade de Foz do Iguaçu. Preliminarmente, as cascas obtidas foram submetidas a um processo de lavagem a fim de retirar qualquer tipo de resíduo presente no material, que pudesse interferir de forma negativa no estudo proposto. Logo após, o material foi submetido à secagem em estufa a 105° C, antes de passar pelo processo de moagem.

Fotografia 1 – Casca de ovo sem tratamento



Fonte: Autoria própria (2021)

Após este tratamento prévio, fez-se necessário a realização de sua moagem em moinho industrial. Este processo foi realizado no Instituto Federal do Paraná, localizado na cidade de Foz do Iguaçu. Neste procedimento, utilizou-se de peneira com abertura de 4mm. O objetivo foi estabelecer uma granulometria semelhante a areia.

Fotografia 2 – Casca de ovo moída



Fonte: Autoria própria (2021)

Findado o processo, foi possível obter cerca de 16kg de casca de ovo moída, as quais serão destinadas a agregação do concreto, em substituição parcial da areia, nos percentuais de 5, 10 e 20%.

4.2 Determinação da composição granulométrica

Para a realização do ensaio, fez-se necessário a utilização de 300g de material para cada amostra. A determinação de sua composição granulométrica realizada conforme NBR NM 248 (2003) e NBR 7211 (2019).

Desta forma, procedeu-se a determinação e o somatório das massas retidas em cada peneira bem como no fundo do conjunto. O resultado deste somatório não poderá diferir mais que 0,3% dos valores de massas inicialmente determinados.

Também determinou-se o módulo de finura e diâmetro máximo do agregado, necessários para a classificação do material. A finalidade é verificar a distribuição da granulometria do agregado, abrangendo pontos mínimos, máximos e ótimos, conforme previsto na NBR 7211 (2019).

4.3 Produção dos corpos-de-prova

Para a execução dos ensaios experimentais, fez-se necessário a produção de corpos-de-prova de concreto. O preparo do concreto, foi realizado de forma manual. Para tanto, tomou-se o cuidado de impermeabilizar o piso com lonas plásticas, para que não houvesse perda de frações de água por processos de absorção da superfície.

Previamente ao preparo da mistura, fez-se necessário verificar a quantidade ideal de água na preparação do concreto, tendo em vista que a sua falta, ou excesso, pode resultar em diferentes problemas. Conforme dito anteriormente, a correta dosagem da água, interfere diretamente nas reações químicas da mistura, e conseqüentemente em suas propriedades de resistência e durabilidade. A relação água/cimento utilizada para a produção dos corpos de prova foi de 0,60. O traço de concreto seguiu o padrão convencional de 1:2:3. A expressão traço de concreto, faz referência as quantidades de massa ou volume, dos diversos elementos que compõe o concreto: cimento, areia e brita, respectivamente (ABNT NBR 12655, 2015).

A tabela 5 apresenta as quantidades totais em volume de materiais utilizados para a produção dos corpos de prova de concreto, que serão objetos de análise neste estudo.

Tabela 5 – Volume de concreto para produção dos corpos de prova

Corpo de Prova	Cimento	Areia	Pedra	Casca de Ovo	Água
0%	5.760 g	6,0 dm ³	8,0 dm ³	0,0 dm ³	3,5 dm ³
5%	5.760 g	5,7 dm ³	8,0 dm ³	0,3 dm ³	3,5 dm ³
10%	5.760 g	5,4 dm ³	8,0 dm ³	0,6 dm ³	3,5 dm ³
20%	5.760 g	4,8 dm ³	8,0 dm ³	1,2 dm ³	3,5 dm ³

Fonte: Aatoria própria (2021).

O percentual de substituição de casca de ovo por areia, foi realizado considerando unidades de volume.

Para o desenvolvimento deste estudo, 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 prismáticos quadrangular, foram submetidos a ensaio termogravimétrico com a finalidade de verificar a captura de CO₂ a partir da carbonatação. E por fim, os corpos de prova do tipo quadrado, foram submetidos a ensaio balístico, a fim de verificar se houve significativas mudanças na absorção de impactos do material produzido.

Além do concreto convencional, foram produzidos concreto com 5, 10 e 20 por cento de agregação de casca de ovo em substituição da areia, a fim de verificar os parâmetros físicos já apontados anteriormente, em cada um deles. A fotografia a seguir apresenta os componentes utilizados na produção dos corpos de prova.

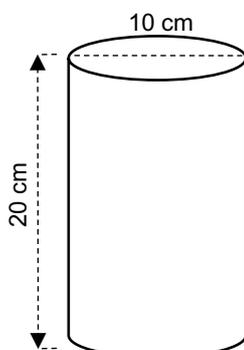
Fotografia 3 – Componentes do concreto produzido

Fonte: Aatoria própria (2022)

O processo de moldagem dos corpos-de-prova seguiu os critérios estabelecidos em norma técnica no que diz respeito as dimensões básicas. Os corpos de prova cilíndrico, segundo a norma técnica devem ter altura igual ao dobro do

diâmetro. Ainda de acordo com a norma, os diâmetros também devem ser de 10, 15, 20, 25, 30 ou 45 centímetros. Seguindo estes critérios, adotou-se para os corpos-de-prova, as medidas representadas na figura 4 (ABNT NBR 5738, 2015).

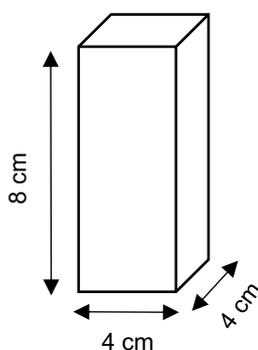
Figura 4 – Dimensão do corpo de prova cilíndricos



Fonte: Autoria própria (2021)

Os corpos de prova prismático quadrangular, foram produzidos em conformidade com o estudo apresentado por Mazurana *et al* (2021), e apresentam as dimensões demonstradas na figura a seguir.

Figura 5 – Dimensão do corpo de prova prismático



Fonte: Autoria própria (2021)

O adensamento do corpo de prova foi realizado de forma manual, e conforme norma técnica, para a produção de corpos cilíndricos, exige-se o preenchimento dos moldes em 2 camadas com 12 golpes em cada uma delas. O adensamento manual é realizado a partir da introdução do concreto na forma molde em camadas de volume aproximadamente igual, e após isso, é necessário adensar cada camada com uma haste, de forma a penetrar o concreto. Após o adensamento, os corpos-de-prova foram submetidos a uma cura inicial, em uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e protegido das intempéries, permanecendo neste local por 48h. Passado

este período, procedeu-se a desmoldagem dos corpos de prova, sendo eles submersos em solução saturada de água com CaO a aproximadamente 23° C, para a realização do processo de cura inicial (ABNT NBR 5738, 2015).

Após 28 dias da produção dos corpos-de-prova, serão executados ensaios de resistência a impactos e resistência a compressão, ensaios termogravimétrico e de absorção de água.

Foi realizado uma comparação dos resultados obtidos pelos blocos convencionais e blocos agregados com a casca do ovo, com os requisitos mínimos exigidos pela ABNT NBR 6136 (2016).

E por fim, após identificado a viabilidade do material, será apresentado uma destinação final alternativa e sustentável para a casca do ovo.

4.4 Determinação da absorção de água

A determinação da absorção de água dos corpos-de-prova foi realizada considerando as exigências estabelecidas na norma técnica ABNT NBR 9778 (2009). O objetivo, é 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.

4.5 Ensaio de resistência a impactos

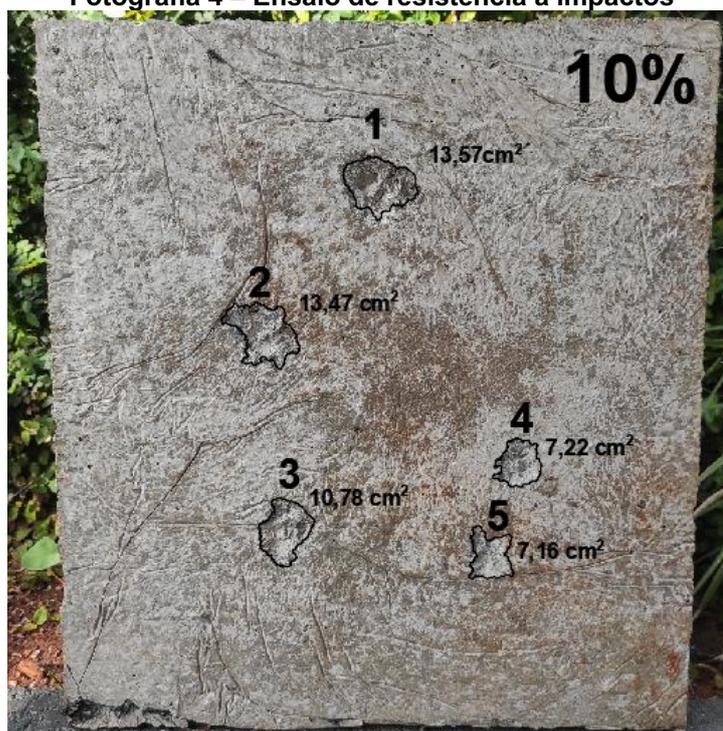
Para verificar a resistência ao impacto, utilizou-se como referência a NBR 15.000, que trata de blindagem para impactos balísticos. Foram realizados 5 disparos de arma de fogo em cada corpo de prova de formato quadrado, dimensões 50x50cm. Após isto, determinou-se a área de influência do projétil e a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

Com vistas a reduzir o risco de acidentes oriundos de ricochetes de projéteis, os disparos foram realizados a uma distância de 20 metros do corpo de prova. Para tanto, fez-se necessário o uso da carabina SMT Taurus 40, para favorecer a precisão do disparo no ponto de impacto.

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.

Para análise das chamadas áreas de influência, utilizou-se do software Autocad. Com as devidas adequações de escala, calculou-se a área de cada disparo realizado, para submetê-los a apreciação comparativa, conforme fotografia 8.

Fotografia 4 – Ensaio de resistência à impactos



Fonte: A autoria própria (2022)

Os resultados obtidos neste teste poderão informar se houve uma melhoria na resistência à impactos dos materiais produzidos com a casca de ovo.

4.6 Ensaio de resistência a compressão

Os ensaios de compressão, serão realizados conforme o disposto na ABNT NBR 5739 (2018). O objetivo é submeter os corpos-de-prova cilíndricos, a um equipamento capaz de fazer a aplicação de uma força vertical controlada, a fim de promover a compressão axial e diametral. Deste modo, será possível verificar a resistência a forças de compressão nos corpos de prova com casca de ovo, em comparativo com o padrão convencional.

4.7 Análise de carbonatação

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 aspensão do nominado indicador em determinada região fraturada do corpo de prova a fim de verificar a quantidade de CO₂ que o material é capaz de absorver por meio de seus poros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Ensaio granulométrico

Após o ensaio de granulometria, e com os devidos resultados obtidos nas mais variadas peneiras, obteve-se os valores expostos na tabela 6.

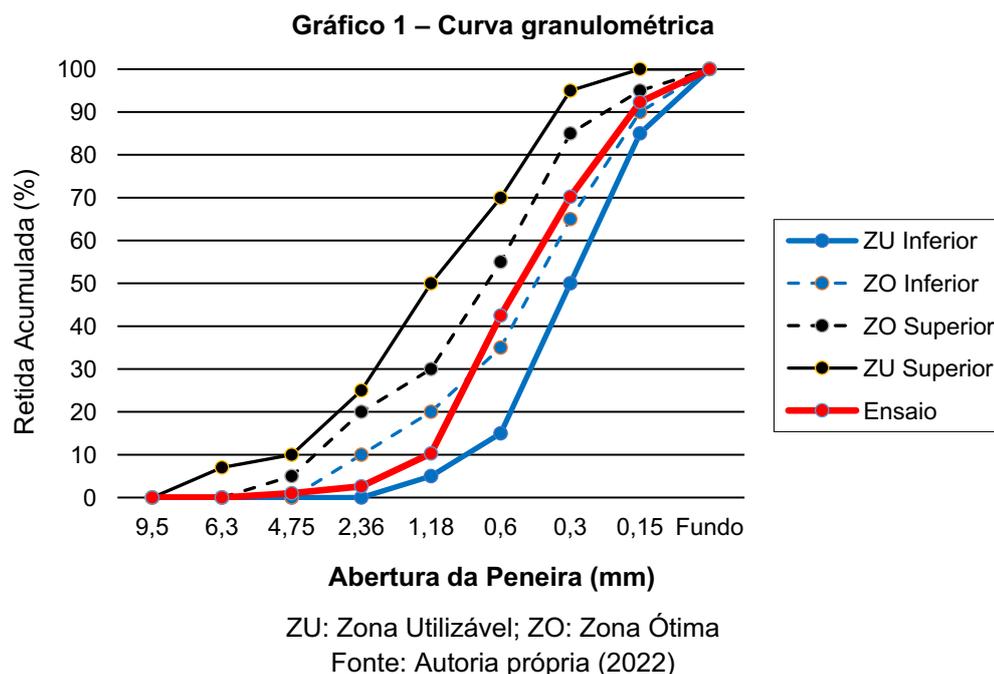
Tabela 6 – Composição granulométrica da casca do ovo

Abertura (mm)	Amostra m ₁		Amostra m ₂		Médias	
	M. Retida (g)	M. Retida (%)	M. Retida (g)	M. Retida (%)	M. Retida (%)	Retida Acumulada (%)
9,5	0	0	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0	0	0
4,75	3,2	1,1	2,8	0,9	1,0	1,0
2,36	4,7	1,6	4,4	1,5	1,6	2,6
1,18	24,6	8,2	21,3	7,1	7,7	10,3
0,6	97,8	32,6	95,4	31,8	32,2	42,5
0,3	82,1	27,4	84,3	28,1	27,7	70,2
0,15	67,3	22,3	66,1	22,0	22,1	92,3
Fundo	20,3	6,8	25,7	8,6	7,7	100
Total	300,0	100	300,0	100	100	100

M = massa seca

Fonte: Autoria própria (2021)

A partir dos dados obtidos, é possível calcular a dimensão máxima e o módulo de finura. Observando-se os valores na tabela 6, percebe-se que a dimensão máxima do agregado é de 2,36 mm. Já o módulo de finura, neste caso corresponde a 2,19 mm. 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.



A NBR 7211 (2019), determina limites para a distribuição granulométrica do agregado miúdo, o que pode ser observado no gráfico acima. Analisando a curva correspondente ao ensaio, pode-se observar que a casca do 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.

5.2 Análise da densidade dos corpos de prova

Para análise da densidade dos materiais produzidos, fez-se necessário verificar os valores de massa dos corpos de prova, submetendo os dados obtidos a análise estatística, com vistas a verificar a conformidade e validade dos dados. Os testes de densidade, observaram o estabelecido na NBR 13.280/2005.

Tendo em vista a maior facilidade e quantidade produzida, optou-se pela pesagem dos corpos de prova do tipo prismático. Para tanto, utilizou-se uma balança de precisão, de onde pôde ser extraído os valores médios de massa, conforme apresentado na tabela 7.

Tabela 7 – Massa dos corpos de prova (g)

Corpo de Prova	Médias
0%	344
5%	337
10%	331
20%	318

Fonte: Autoria própria (2021)

Estatisticamente, o *Friedman Teste* (0,005), confirma que os dados estão relacionados entre si. Ainda, o teste de normalidade apresentou-se satisfatório, visto que a partir do método de *Anderson-Darling*, indicando uma distribuição normal e homogênea dos dados apresentados e desvio padrão de 5,3.

Deste modo, o que se verifica é que há uma redução nos valores de massa do concreto, com a incorporação da casca do ovo.

De posse dos valores de massa, já é possível calcular as densidades dos materiais, visto que a densidade, trata-se de uma relação diretamente proporcional entre massa e volume. Assim, considerando as medidas do corpo de prova prismático (4cmx4cmx8cm), teremos um volume de 128 cm³. Logo, as densidades dos materiais seguirão o estabelecido na tabela 8.

Tabela 8 – Densidades dos diferentes corpos de prova

Corpo de Prova	Massa (g)	Volume (cm³)	Densidade (g/cm³)
0%	344	128	2,68
5%	337	128	2,63
10%	331	128	2,58
20%	318	128	2,48

Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com ABNT NBR 8953 (2015), os concretos para fins estruturais, apresentam densidade entre 2,00 g/cm³ e 2,8 g/cm³. Abaixo dessa faixa, estão os concretos leves, e acima, os densos ou pesados. Portanto, percebe-se que mesmo com a agregação do percentual de 20% de casca de ovo, o concreto apresentou características de densidades para fins estruturais.

Ainda, considerando a redução da densidade e da massa do concreto, a agregação de casca de ovo como componente, pode permitir seu uso estrutural leve nas edificações, acarretando significativa redução do peso da própria estrutura.

5.3 Teste de absorção de água

O processo de absorção de água, é o processo pelo qual a água ocupa os poros permeáveis de um corpo sólido a partir da penetração. Deste modo, poderemos realizar comparativos entre a porosidade existente nos diferentes corpos de provas.

A tabela 9, apresenta dos valores de massa saturada e massa seca, obtidos conforme padrão estabelecido na ABNT NBR 9778 (2009).

Tabela 9 – 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

Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com o que consta na tabela 9, observa-se uma elevação no percentual de absorção de água, conforme o aumento do teor de casca de ovo utilizado no concreto. Como visto na tabela 2, concretos com teores de absorção de água menor ou igual a 4,2% são classificados como sendo do tipo Durável-Alto desempenho.

Conforme dito anteriormente, quanto maior a densidade do corpo de prova, menor será sua absorção de água. Tendo em vista que as densidades dos materiais testados, foram diminuindo conforme aumentou-se o percentual de casca de ovo, logo, nos resta evidente que seu percentual de absorção de água por óbvio deveria aumentar.

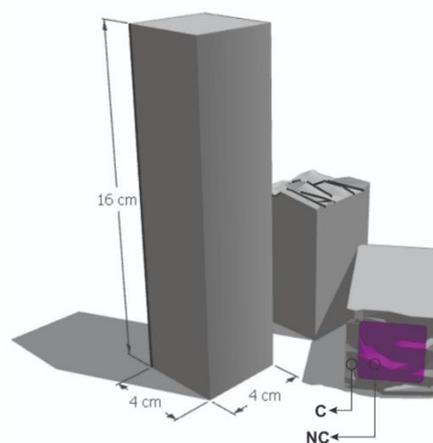
Percebe-se também, que o aumento do teor de absorção se deve em razão do aumento da porosidade do concreto, já que de acordo com a norma técnica ABNT NBR 9778 (2009) a absorção de água por imersão, é o processo pelo qual a água ocupa os poros permeáveis de um corpo sólido a partir da penetração.

5.4 Análise de carbonatação

O contato da solução de fenolftaleína 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. 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 CO₂ no material.

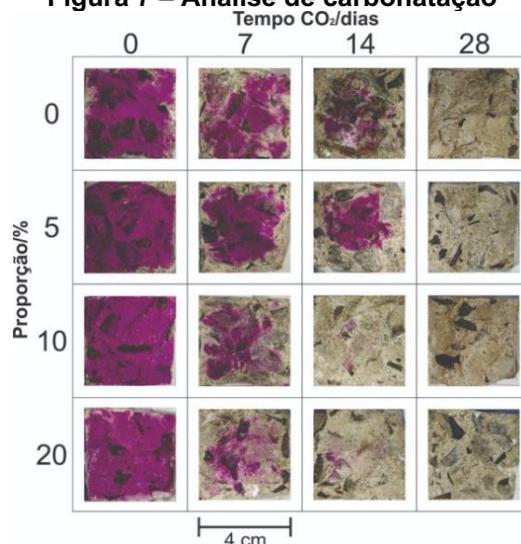
Figura 6 – Carbonatação do corpo de prova



Fonte: Autoria própria (2022)

Após submissão dos corpos de prova ao teste de carbonatação, foi possível verificar uma significativa rapidez na absorção de carbono pelos materiais. Deste modo, quanto maior o percentual de agregado alternativo (casca de ovo), menor foi o tempo de absorção completa de carbono. Percebe-se que em 14 dias, o corpo-de-prova com 20% de agregado alternativo, absorveu quase que completamente o carbono presente no ambiente controlado, ao passo que o corpo-de-prova comum (0%), apresenta uma significativa área de não absorção deste mesmo elemento.

Figura 7 – Análise de carbonatação



Fonte: Autoria própria (2022)

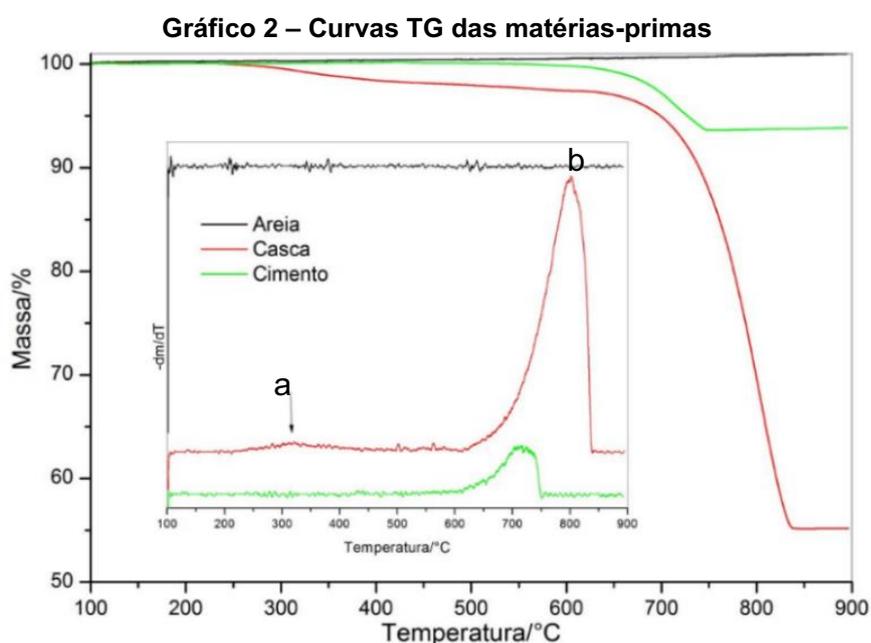
Esta maior velocidade na absorção do carbono, se deve principalmente em razão do aumento da porosidade do concreto, que ficou evidenciado nos testes de densidade anteriormente apresentados.

5.5 Análise termogravimétrica

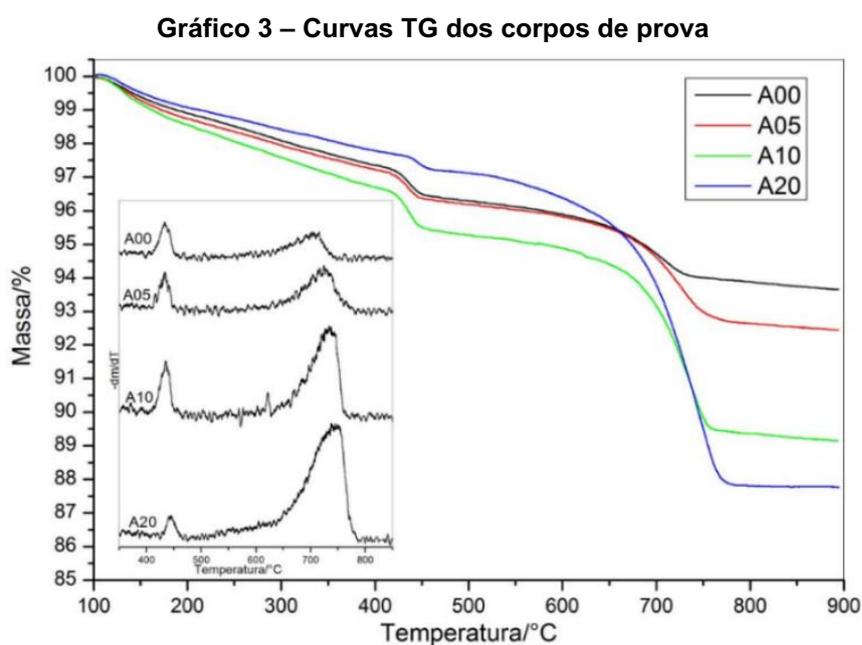
Neste processo, verificou-se o comportamento da massa do material em função do aumento da temperatura. Inicialmente, realizou-se os testes para as matérias primas.

O gráfico 2 apresenta as curvas termogravimétrica da areia, casca do ovo e do cimento. É possível perceber que a casca do ovo teve massa residual menor que o cimento e a areia. Conforme demonstrado no estudo de Mazurana *et al* (2021), essa decomposição do material é atribuída à presença do Ca^{2+} e Mg^{2+} gerando óxidos como produto residual. Deste modo, pode-se verificar que a casca do ovo apresentou uma estabilidade térmica menor que a demais matérias primas, com um decaimento abrupto a partir dos 650°C .

O gráfico 2 (dm/dT), nos permite visualizar melhor regiões onde há sobreposições de pico. Analisando a curva da casca de ovo, o evento que aparece entre $\sim 250^\circ\text{C}$ e $\sim 350^\circ\text{C}$ (a), ocorre em razão da decomposição do Mg^{2+} . Já o evento que ocorre entre $\sim 600^\circ\text{C}$ e 800°C (b), ocorre devido a perda do carbonato de cálcio, bastante similar ao ocorrido nas análises de Mazurana *et al* (2021).



Já o gráfico 3, demonstra o comportamento dos corpos de provas submetidos à análise térmica. É possível observar que quanto maior o percentual de casca de ovo, menor é a massa residual frente a variação da temperatura. Isso ocorre porque quanto maior a quantidade do agregado alternativo, maior é a concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Deste modo, ocorre a decomposição do magnésio e do carbonato de cálcio, presente na casca do ovo, produzindo seus respectivos óxidos, conforme exposto por Mazurana *et al* (2021).

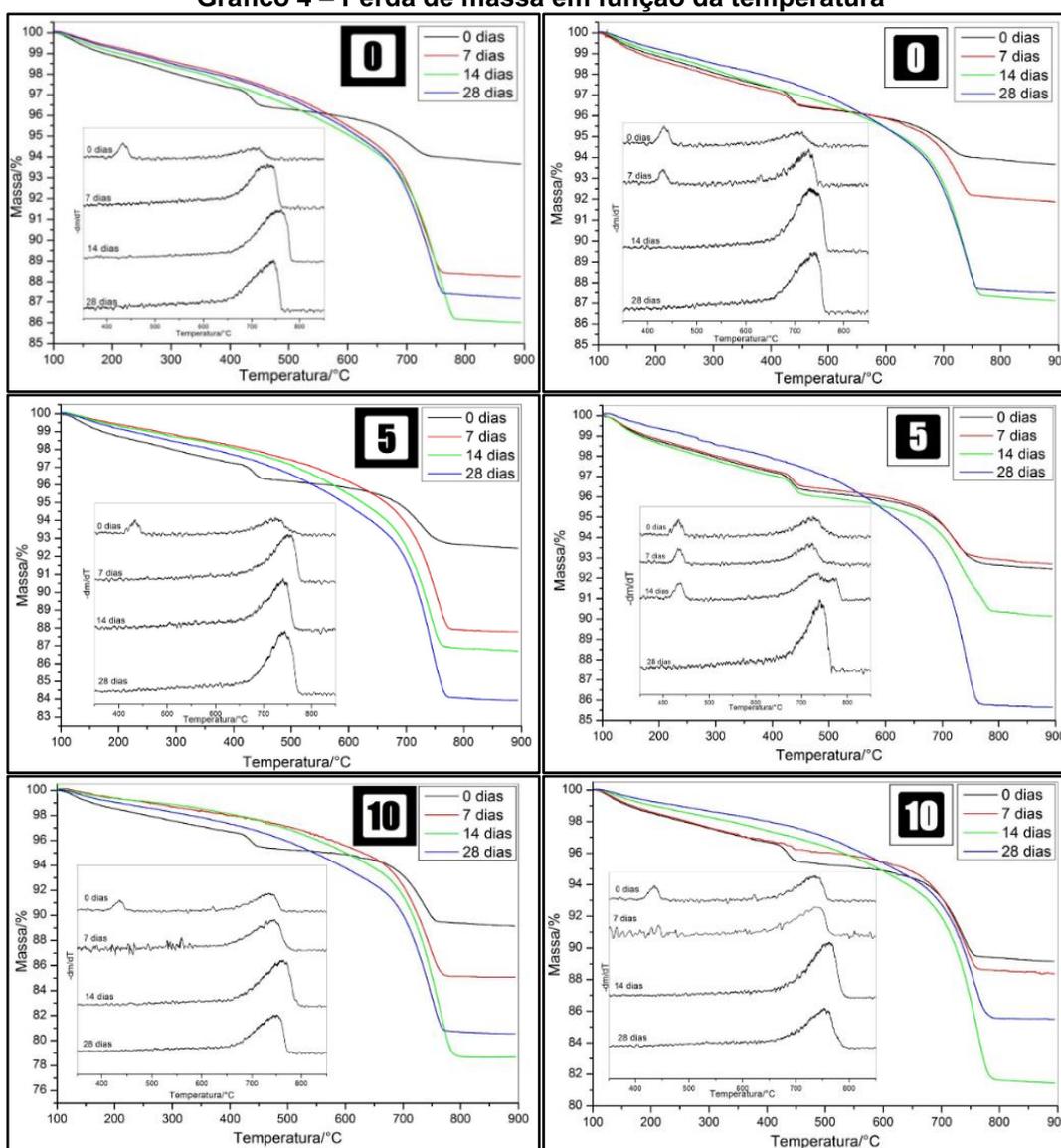


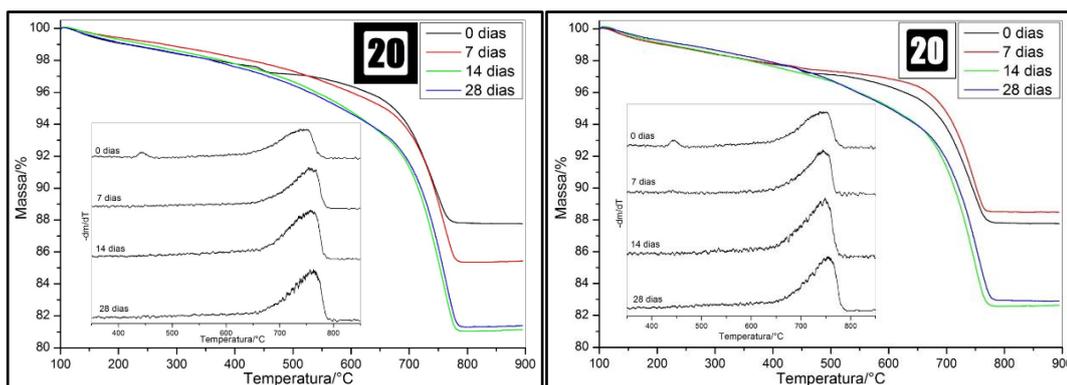
Corroborando com o que fora apresentado, Rodrigues e Avila (2017) descreveram em seu estudo de análise térmica da casca de ovo, que a sua decomposição térmica ocorrem em três eventos de perda de massa. O primeiro evento ocorre entre 25 °C e 100 °C, com perda de massa de 1,02%, sendo atribuído a perda de água. O segundo ocorre entre 250 e 600° C, intervalo característico da decomposição do magnésio, representando aproximadamente 7,68% da massa da casca de ovo. E por fim o terceiro evento, a partir dos 600° C, decorrente da decomposição do carbonato de cálcio, representando uma perda de massa de 39,5% com a respectiva liberação de CO_2 .

5.5.1 Potencial de Captura de CO₂

As curvas termogravimétricas foram analisadas em relação a substituição do agregado miúdo (areia por casca de ovo). As análises foram realizadas em cada um dos corpos de prova, nas regiões externas e internas, conforme apresentado no gráfico 4.

Gráfico 4 – Perda de massa em função da temperatura





Fonte: A autoria própria (2022)

Ao analisar as curvas termogravimétricas, percebe-se que os concretos apresentaram maior perda de sua massa ao longo do aumento de temperatura conforme há o aumento no percentual de agregado alternativo. Ainda, é possível verificar que nas áreas onde há a presença do CO_2 (Zonas Externas), a perda de massa se torna mais significativa, devido a sua volatilização e aumento da porosidade do concreto. Assim, isto se torna mais uma evidência que a utilização da casca do ovo como agregado miúdo, apresenta maior potencial para a captura de CO_2 por parte do concreto.

Pelas curvas, também é possível verificar os valores de perda de massa de CO_2 a partir da decomposição térmica, conforme exposto na tabela 10.

Tabela 10 – Valores de perda de massa de CO_2 pela decomposição térmica

Amostra	CO_2 (% em massa)		
	$m\text{CO}_2(nc)$	$m\text{CO}_2(c)$	$m\text{CO}_2$
0%	2,10	12,90	10,80
5%	2,90	16,00	13,10
10%	5,00	19,40	14,40
20%	7,40	18,70	11,30

nc: não carbonatado; c: carbonatado.

Fonte: A autoria própria (2022)

Observa-se que o aumento da substituição de casca de ovo no concreto, contribui para a melhoria do nível de absorção de CO_2 . Isso corrobora com outros estudos, a exemplo o de Mazurana *et al* (2021), o qual relata que quanto maior o percentual deste resíduo em argamassas, maior é a profundidade da carbonatação. Assim, percebe-se um aumento na perda do CO_2 conforme há um maior percentual de casca de ovo no concreto.

5.6 Resistência a compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em ambiente controlado, utilizando-se do equipamento de marca Quantec, o qual quantifica a força (kN) exercida em determinada área do corpo de prova.

Fotografia 5 – Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Autoria própria (2022)

Após compressão de todos os corpos de prova, chegou-se aos resultados apresentados na tabela a seguir.

Após a distribuição dos dados obtidos nos testes de compressão, fez-se necessário uma análise estatística para avaliar a validade dos dados obtidos. O teste de normalidade evidenciou uma distribuição normal dos dados apresentados. Ao analisar o coeficiente de variação das amostras (1,62 a 5,46), restou verificado que há uma baixa dispersão dos dados, o que confere significativa homogeneidade dos valores obtidos.

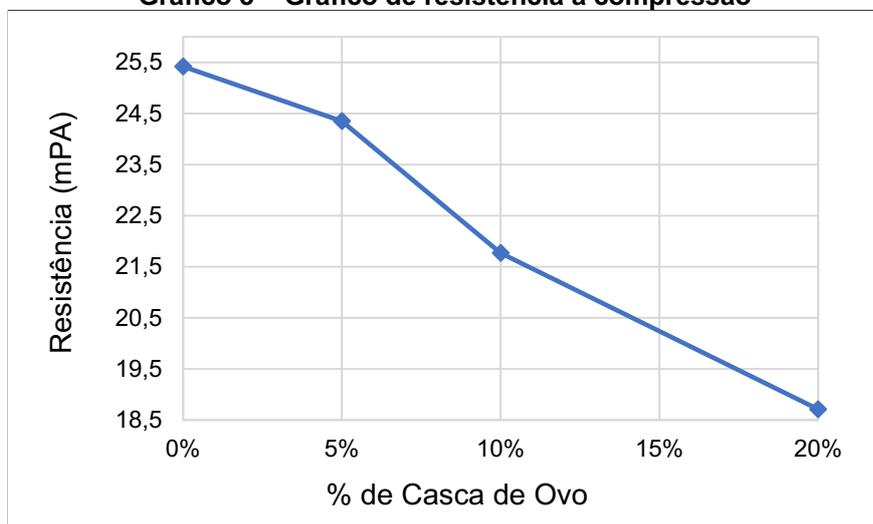
A análise de variância pelo teste ANOVA ($4,1 \cdot 10^{-6}$), evidencia que as médias obtidas no experimento são bastante consistentes e significativas com desvio padrão de 5,63. Com isto, pode-se concluir que os valores de resistência à compressão obtidos no experimento, para cada tipo de corpo de prova, são os apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Resistências dos corpos de prova

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

Fonte: Aatoria própria (2022)

Assim, 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 5.

Gráfico 5 – Gráfico de resistência à compressão

Fonte: Aatoria própria (2022)

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 2, por Mehta & Monteiro (2008).

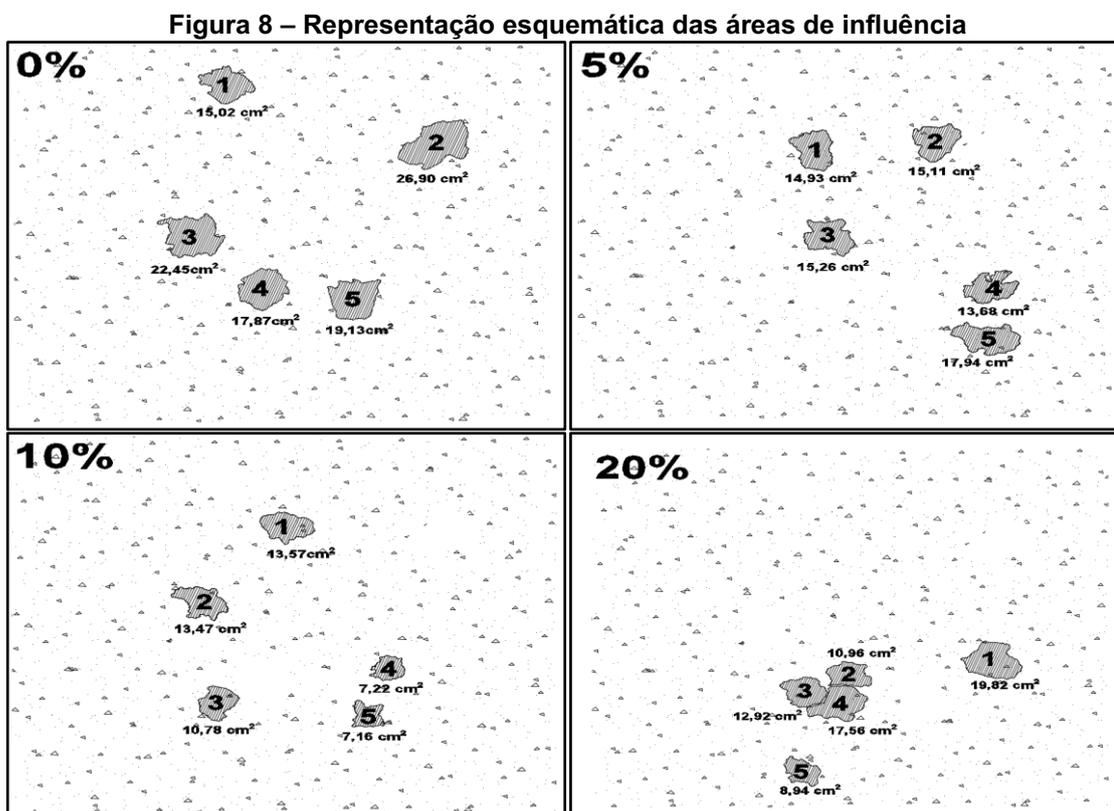
Deste modo, a redução da relação água/cimento pode contribuir para o aumento da resistência do corpo de prova produzido com 5% de casca de ovo em substituição à areia, trazendo resultados animadores para esta pesquisa.

5.7 Resistência a impactos

Os corpos de prova submetidos a disparos de arma de fogo apresentaram áreas de influência do projétil, caracterizados pela desagregação dos componentes presentes no material cimentício, e profundidade de perfurações. Tais fatores merecem ser objeto de análise.

5.7.1 Áreas de influência dos projéteis

A figura 8 trata-se de uma representação esquemática do ensaio e resistência à impactos, com a finalidade de melhor visualização das áreas de influência dos projéteis.



Fonte: Autoria própria (2022)

A análise de variância pelo teste ANOVA ($p = 0,03$) evidencia que há diferenças entre as médias obtidas nos grupos submetidos aos variados tratamentos. Ainda, a análise estatística dos dados, nos informa correspondência entre os dados com desvio padrão de 5,03. Os dados apresentados, ainda apresentaram uma baixa dispersão e boa correlação entre si.

Assim, 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 12.

Tabela 12 – Áreas média de influência (cm²)

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

Fonte: Autoria própria (2022)

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.

5.8.2 Profundidade de perfuração dos projéteis

A análise de variância pelo teste ANOVA ($p = 0,002$) demonstra que as diferenças entre as médias obtidas entre os grupos, são significativas. Além disso, os dados apresentaram correlação entre si e baixa dispersão com desvio padrão de 1,20.

Com isto, as médias entre os valores de perfurações pode ser considerada como válidas, resultando nos valores dispostos na tabela 13.

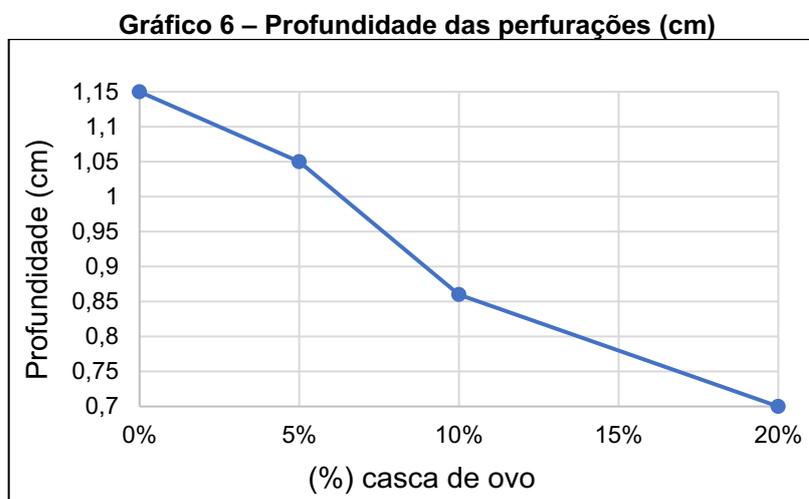
Tabela 13 – Média de profundidade (cm)

Corpo de Prova			
0%	5%	10%	20%
1,15	1,05	0,86	0,70

Fonte: Autoria própria (2022).

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. O gráfico 6 representa graficamente os resultados discutidos.



Fonte: Autoria própria (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 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.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

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. Para as misturas analisadas, identificam-se comportamentos distintos para os diferentes traços analisados em relação a proporção de casca de ovo na composição dos corpos-de-prova.

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.

Analisando-se as curvas termogravimétricas, foi possível verificar uma maior perda de massa de CO₂ pelos concretos substituídos por casca de ovo, quando comparado com o concreto convencional. A maior captura de dióxido de carbono é benéfica do ponto de vista ambiental, visto que este gás é responsável pelo aumento do efeito estufa.

Também restou verificado uma redução na resistência térmica dos corpos de prova, conforme o maior percentual de agregação da casca de ovo.

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 existente nos poros do concreto. Esse preenchimento de vazios poderá fornecer maior resistência mecânica à compressão, aliado aos outros benefícios observáveis nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGENDA 21. **Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1997.

AHMAD, M. S.; VATANDOOST, H.; BOJD, A. A.; ZARE, M. **Environmental characteristics of anopheline mosquito larval habitats in a malária endemic area in Iran**. Asian Pacific Journal of Tropical. jul. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1995764513600875?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jul. 2022.

AÏTCIN, P. C. **High-performance concrete**. Quebec: E&FN Spon, 1998.

ALHADAS, M. F. S. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

ANTHONY, E. J.; BRUNIER, G.; BESSET, M.; GOICHOT, M.; DUSSOUILLEZ, P.; NGUYEN, V. L. **Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities**. Scientific Reports. October 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep14745.pdf>. Acesso em 14 jul 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **ABNT NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **ABNT NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **ABNT NBR 13280**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **ABNT NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

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

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

_____. **ABNT NBR 6136:** blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

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

_____. **ABNT NBR NM 248:** agregados - determinação da composição granulométrica. ABNT: Rio de Janeiro, 2003.

_____. **ABNT NBR-7211:** agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BARROS, P. **Traço de concreto:** a importância do controle da água. Grupo Votorantim: Mapa da Obra, 2016. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/traco-de-concreto-a-importancia-do-controle-de-agua/>. Acesso em: 21 jun. 2021.

BBC (British Broadcasting Corporation). **Areia, gás hélio e outros 4 recursos que talvez você não saiba que estão acabando.** Disponível em <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/08/26/areia-gas-helio-e-outros-4-recursos-que-talvez-voce-nao-saiba-que-estao-acabando.ghtml>. Acesso em: 14 jul. 2022.

BRASIL. **Institui a política nacional de resíduos sólidos. 2010.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 22 set. 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 001 de janeiro de 1986.** Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de Impacto Ambiental. Disponível em: <http://www.ima.al.gov.br/wizard/docs/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20N%C2%BA001.1986.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2020.

BRITO, B. G. **Ovo:** produção e curiosidade sobre o ovo. Porto Alegre: SEAODR, 2021. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202112/17171709-livreto-curiosidades-sobre-o-ovo-ddpa-final.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2022.

CAMARATTA, R.; LIMA, A. N. C.; REYES, M. D.; FENOLLOSA, M. A. H.; MESSANA, J. O.; BERGMANN, C. P. **Evolução microestrutural e propriedades ópticas do TiO₂ sintetizado por templates membrana da casca do ovo para aplicação DSSCs.** 2013. Boletim de pesquisa de materiais. V. 48, p. 1569-1574.

CARDOSO, C. H. C. S. **Valorização de resíduo de casca de ovo galináceo na obtenção de titanato de cálcio.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Clarisse-Cardoso.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2022.

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 jun. 2021

CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção). **Desenvolvimento com sustentabilidade.** 2014. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Desenvolvimento_Com_Sustentabilidade_2014-1.pdf. Acesso em: 8 dez. 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.

CMFI (Câmara Municipal de Foz do Iguaçu). **Câmara debateu necessidade de solução para os resíduos da construção civil.** 2021. Disponível em: <https://www.fozdoiguacu.pr.leg.br/institucional/noticias/camara-debateu-necessidade-de-solucao-para-os-residuos-da-construcao-civil>. Acesso em: jul. 2022.

DAL MOLIN, D. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microssilica.** 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). São Paulo: Universidade de São Paulo, 1995.

DIAS, F. D. **Evaluation of the effects on the technical properties of the use of egg shell waste in paving blocks.** Brazilian Journal of Development. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/31294/pdf>. Acesso em: 5 jul. 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Uma economia circular no Brasil:** uma exploratória inicial. 2017. Disponível em: https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.

FREIRE, M. N.; SOUSA, S. J. G.; HOLANDA, J. N. F. **Using eggshell in red wall tiles, waste and resource management.** v. 161, p. 23-27, 2008.

GURU, P. S.; SUKALYAN, D. **Sorption on eggshell waste:** a review on ultrastructure, biomineralization and other applications. Elsevier, p. 49-65, 2014.

HELENE, P. R. L. **La agresividad del medio y la durabilidad del hormigón.** AATH, n. 10, p. 25-35, 1983.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística). **Indicadores IBGE:** contas nacionais trimestrais. 2010. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2010/pib-vol-val_201004caderno.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa pecuária municipal.** Disponível em: <http://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 21.

JHATIAL, A. A.; SOHU, S.; JAFFAR, M.; BHATTI, N. K. **Eggshell power as partial cement replacement and its effect on the workability and compressive strength of concrete.** International Journal of Advanced and Applied Sciences. March, 2019.

Disponível em: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

LEVY, S.; HELENE, P. **Cura**: como, quando e por quê? Revista Técnica. n. 20. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/1996/06/Cura-como-quando-e-porque.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2021.

MAZURANA, L.; BITTENCOURT, P. R. S.; SCREMIN, F. R.; POSSAN, E. **Determination of CO₂ capture in rendering mortars produced with recycled construction and demolition waste by thermogravimetry**. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Springer, 2021.

MEDDAH, M. S.; ZITOUNI, S.; BELÂABES, S. **Effect of content and particle size distribution of coarse aggregate on the compressive strength of concrete**: construction and building materials, v. 24, p. 505-512, 2010.

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

MENDES, S.; NASCIMENTO, A. P. N.; GUERINI, L.; OLIVEIRA, W. R. J. O. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho, utilizando método de dosagem Mehta-Aitcin, para os materiais disponíveis em uma concreteira de Curitiba**. IBRACON, 2018. Disponível em: <https://www.unifacear.edu.br/wp-content/uploads/artigo-2.pdf>. Acesso em: 24 de jun. 2021.

MILBRADT, B. G.; MULLER, A. L. H.; SILVA, J. S.; LUNARDI, J. R.; MILANI, L. I. G.; FLORES, E. M. M.; CALLEGARO, M. G. K.; EMANUELLI, T. Casca de ovo como fonte de cálcio para humanos: composição mineral e análise microbiológica. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/yTR8KbsQWNpBSLQB3ZrwSSP/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 2 jun. 2022.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Princípio dos 3R's**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/principio-dos-3rs>. Acesso em: 22 set. 2020.

NASCIMENTO, J. S.; BELO, B.; FREITAS, H. J.; CORDEIRO, M.; GOMES, F. A. **Influência do peso do ovo sobre a eclodibilidade e o peso do pinto ao nascimento**. Enciclopedia Biosfera. Goiânia, 2015. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/influencia%20do%20peso%20do%20ovo.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2022.

NEVES, A. **Tipos de cimento Portland**: não erre na escolha do cimento. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.blok.com.br/blog/tipos-de-cimento-portland-cp#:~:text=O%20cimento%20Portland%20%C3%A9%20um,masa%2C%20oferece%20elevada%20resist%C3%A2ncia%20mecnica>. Acesso em: 02 jun. 2022.

OLIVEIRA, D. A.; BENELLI, P.; AMANTE, E. R. **A literature review on adding value to solid residues: egg shells.** Journal of Cleaner Production. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.045>. Acesso em: 05 jul. 2022.

OLIVEIRA, D. A. **Valorização de resíduos sólidos: casca de ovos como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos.** Internacional Workshop Advances in Cleaner Production. Key Elements for a Sustainable World. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/6a/1/e.%20r.%20a%20mante%20-%20resumo%20exp%20-%206a-1.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2021.

PEDROZA, I.; KUO, E. E.; MORAIS, W. A.; CHOUKRI, M. **Avaliação do efeito da absorção de água durante o processo de cura do concreto.** 2019. Disponível em: <https://www.unaerp.br/documentos/3403-rci-avaliacao-do-efeito-da-absorcao-de-agua-durante-o-processo-de-cura-do-concreto-06-2019/file>. Acesso em 24 de junho de 2021.

PEDUZZI, P. **Sand, rarer than one think.** Environmental development. 2014. v. 11. p. 208-218. Disponível em: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:75919/ATTACHMENT01>. Acesso em: 14 jun. 2022.

PUGLIESI, N. **Cimento: diferentes tipos e aplicações.** ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). 2021. Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/artigos/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/>. Acesso em: 25 jun. 2021.

QUINA, M. J.; SOARES, M. A. R.; FERREIRA, R. Q. **Applications of industrial eggshell as a valuable anthropogenic resource: resources, conservation and recycling.** Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.027>. Acesso em: 05 jul. 2022.

RAJI, S. A; SAMUEL A, T. **Egg shell as a fine aggregate in concrete for sustainable construction.** 2015. International Journal of Scientific and Technology Research.

RODRIGUES, S. F. S.; ÁVILA, S. G. **Caracterização química da casca e ovo de galinha e utilização como fonte para produção de composto de cálcio.** SEMESP, 2017. Disponível em: <https://www.conic-semesp.org.br/anais/files/2015/trabalho-1000019342.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2022.

SANTOS, L. S. C. **Obstáculos para a valorização dos resíduos urbanos no centro-oeste.** Disponível em: https://oswaldocruz.br/revista_academica/content/pdf/Edicao_16_SANTOS_L%C3%ADvia_S_C.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.

SEAB (Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento). **Análise de conjuntura de agropecuária avicultura de postura.** 2012. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/avicultura_postura_2012_13.pdf. Acesso em: 29 nov. 2021.

SILVA, C. A. P. **Aproveitamento de resíduos de casca de ovo para incorporação em argamassas.** Departamento de Engenharia Civil. Disponível em:

<https://eg.uc.pt/bitstream/10316/83360/1/Aproveitamento%20de%20res%C3%ADduos%20de%20casca%20de%20ovo%20para%20incorpora%C3%A7%C3%A3o%20em%20argamassas.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2021.

TAN, Y. Y.; DOH, S. I.; CHIN, S. C. Eggshell as a partial replacement in concrete development. **Magazine of Concrete Research**. 2018, p. 662-670. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/jmacr.17.00003>. Acesso em: 4 jul. 2022.

TSAI, W. T.; YANG, J. M.; LAI, C. W.; CHENG, Y. H.; LIN, C. C.; YEH, C. W. **Characterization and adsorption properties of eggshells and eggshell membrane**. Bioresource Technology, 2006.

YERRAMALA, A. **Properties of concrete with eggshell powder as cement replacement**. The Indian Concrete Journal, 2014, p. 101-102.