



Reaproveitamento Sustentável de Resíduos de Concreto: Alternativas para Agregados Graúdos na Construção Civil

Luana Aparecida Bessa Aquino, Marcos Roberto Rodrigues de Morais, Marina Lopes de Oliveira, Rafaela Vitória Vasconcelos Ferreira

(luanabessaaquino@hotmail.com; engciv.marcosmorais@gmail.com; marinalopesdeoliveiraa@gmail.com; eng.rafaelaferreira@yahoo.com)

Professora orientadora: Sheila Leal Oliveira Loureiro

Coordenação de curso de Engenharia Civil: Everton Martins Ferreira

Resumo

Com o aumento das construções e demolições a demanda de concreto conduziu à exploração de recursos dos agregados naturais. Uma alternativa sustentável, é o reaproveitamento dos resíduos de concreto para substituição de agregados naturais graúdos por agregados reciclados graúdos. A metodologia adotada foi pesquisa aplicada, bibliográfica e exploratória, buscando proporcionar informações sobre o estudo de caso referente ao reaproveitamento dos resíduos reciclados de concreto da construção civil e demolição, com isso, classificada em qualitativa baseado em análises documentais. Atualmente normas técnicas estabelecem critérios para uso de agregados reciclados de concreto como substitutos parciais ou totais dos agregados naturais no concreto, limitando o uso apenas de Agregado Reciclado de Concreto (ARCO) para a substituição em 100% dos agregados naturais sem função estrutural. Foram produzidas duas misturas utilizando o método ABCP com objetivo de resistência a compressão de 20 MPa, uma com substituição de 100% agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado e outra mistura utilizando 100% agregados naturais. Seguidamente realizado o ensaio de consistência e moldados 4 corpos de prova com idades de 7 e 28 dias para ensaio de resistência. O ensaio de resistência compressão da mistura com 100% agregado reciclado atingiu aos 28 dias 14,2 MPa e o concreto com 100% agregado natural 21,8 MPa, atingindo a resistência desejada. Os experimentos indicam efeitos adversos ao usar 100% agregados reciclados do tipo ARCO. Destacando a importância de ajustar a formulação das misturas, otimizando as propriedades do concreto com agregados reciclados.

Palavras-chave: Construção. Agregado. Concreto. Reciclado. Resíduos.

1. INTRODUÇÃO

A população mundial está aumentando e conseqüentemente a demanda por infraestrutura, resultando em rápido desenvolvimento e urbanização no mundo. De acordo com Ankur et al. (2021) e Vijayaraghavan et al. (2017) o acelerado avanço e desenvolvimento exigem alto consumo de concreto, que é o material de construção mais comumente utilizado devido às suas propriedades favoráveis, flexibilidade, facilidade de preparação, custo-benefício e alta durabilidade associada a ele. O alto consumo de concreto resultou no aumento da exploração de recursos naturais, como os agregados naturais que representam 60-75% do volume na preparação do concreto que consiste em cimento Portland misturado com água e agregados naturais como pedra, cascalho ou areia. (REHMAN; HOWDEN, 2020, p.232). Portanto, é imprescindível pensar em soluções e alternativas para um equilíbrio sustentável dos recursos naturais utilizados na construção (LAVADO et al., 2020).

Uma das soluções para reduzir o impacto do problema acima mencionado é a substituição de agregados naturais (NA) por agregados reciclados (AR) no concreto (KURDA et al., 2017). O uso de agregado reciclado permite uma construção sustentável, reduz o custo dos agregados e proporciona benefícios ambientais quando comparado ao agregado natural gráudo, possui 30% menos energia incorporada na sua preparação e 60% menos emissões de CO₂ (VERIAM, 2018, p. 30-49). A revisão da ABNT NBR 15116:2021 – Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland em junho de 2021 concedeu o uso do agregado reciclado de concreto em substituição parcial ao agregado natural na produção de concretos estruturais. A nova versão da norma também classifica os resíduos da construção civil em classes A, B, C e D, sendo que apenas os agregados da classe A são permitidos para uso no concreto estrutural, desde que compostos em sua forma gráuda (ABNT NBR 15116, 2021).

Este artigo propõe a avaliação na utilização de resíduos da construção e demolição classificados conforme a ABNT NBR 15116:2021 – Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland, definidos na classe A como: resíduos da construção civil, reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Serão utilizados os resíduos da subclasse definidos nesta mesma norma como agregado reciclado de concreto (ARCO): agregado reciclado constituído predominantemente por resíduos de concreto. Os resíduos reciclados serão utilizados como substituição do agregado gráudo natural para produção do concreto de cimento Portland destinados a usos não estruturais seguindo os limites de substituição permitidos na norma de referência.

2. DESENVOLVIMENTO

De acordo com Islam (2019), o número de projetos de construção aumentou rapidamente como resultado da urbanização e do redesenvolvimento urbano. Porém, apesar de seus benefícios econômicos e sociais, a construção civil cria sérios problemas ambientais durante todo o ciclo de vida das edificações, principalmente por causa da geração dos resíduos de construção e demolição. (GENG et al., 2017, p. 176-184). Bohnenberger et al. (2018) e Conceição et al. (2021), entende que a construção civil tem grandes impactos no meio ambiente devido não apenas ao consumo de recursos naturais, mas também ao descarte irregular de resíduos da construção e demolição (RCD). O setor da construção civil possui a capacidade de impactar a qualidade de vida da sociedade positivamente, construindo moradias, escolas, hospitais, possibilitando solucionar desigualdades sociais, ou negativamente, consumindo recursos naturais e produzindo lixo de forma exacerbada. Os resíduos da construção civil possuem grande potencial para servir como matéria-prima de qualidade para agregados, como brita e areia (SENGER, 2020).

Os resíduos de construção e demolição são definidos como “resíduos sólidos gerados principalmente por atividades de construção, demolição e renovação” (PARK; TUCKER, 2017). Em geral, os resíduos de construção e demolição são subprodutos dos processos construtivos gerados devido à utilização excessiva de recursos, danos aos recursos existentes e não conformidade com as especificações (KABIRIFAR et al., 2020, p. 121). Segundo M. Shmls, X. Liu e N. Singh (2022) “a reciclagem destes resíduos de construção como matéria-prima na indústria da construção é uma estratégia eficaz para resolver problemas ambientais e reduzir a exploração de recursos naturais.”

Conforme os autores Fraj et al., (2017), González et al.,(2018) e Jiang et al., (2019) é fato que a reutilização de RCD é benéfica para reduzir a necessidade de novos recursos, diminuir o custo de transporte e produção de energia e utilizar os resíduos que vão para aterros. Embora sua utilização ainda não seja difundida, mesmo com vários estudos realizados sobre o comportamento do concreto reciclado e com estabelecimento de parâmetros confiáveis, esses

materiais devem ser reciclados e processados nas indústrias para serem utilizados como agregados no concreto.

Estes resíduos de construção e demolição são geralmente heterogêneos e a sua composição pode ser afetada por vários fatores, tais como matérias-primas e os procedimentos de construção e demolição. Os RCD são frequentemente compostos não apenas de entulho de concreto, mas também de tijolos de argila triturados e revestimentos. (ABRECON, 2018, p. 75). A Resolução 307, de 05 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA pp 806, veio para estabelecer as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, e conforme o seu Art. 3º os resíduos da construção civil foram classificados da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; (redação dada pela Resolução nº 431/11).

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (redação dada pela Resolução nº 431/11).

IV - Classe D - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (redação dada pela Resolução nº 348/04).

Devido a esta heterogeneidade, a ABNT NBR 15116:2021 - Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland, especificou os requisitos para produção e recepção dos agregados reciclados (miúdos e graúdos), obtidos a partir do beneficiamento de resíduos da construção civil da classe A (conforme a Resolução 307:2002 do CONAMA). Os agregados reciclados foram divididos em subcategorias estabelecidas na ABNT NBR 15116:2021 e classificados como: Agregado Reciclado Cimentício (ARCI) que deve ser constituído predominantemente por materiais cimentícios diversos (concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto etc.), o Agregado Reciclado de Concreto (ARCO) deve ser constituído predominantemente por resíduos de concreto e o Agregado Reciclado Misto (ARM) quando é composto por uma mistura de detritos cimentícios e cerâmicos (concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto, tijolos, revestimentos, cerâmica vermelha etc.).

De acordo com a ABNT NBR 15116:2021, estes materiais devem passar por um processo de trituração e peneiramento, resultando em agregados com propriedades específicas adequadas conforme a tabela 4 desta norma que estabelece uma granulometria de 12,5 a 50 mm para o agregado graúdo reciclado.

Assim, conforme a ABNT NBR 15116:2021, quando o agregado reciclado for utilizado em compósitos ou produtos com função estrutural como concretos de cimento Portland, artefatos pré-fabricados e argamassas com função estrutural, é indicado unicamente utilizar a subclasse ARCO. A substituição de agregado natural por agregado reciclado nesses casos, deve ser limitada a 20% da massa de agregados totais e a concretos das classes de agressividade I e II da ABNT NBR 6118:2023 - Projeto de estruturas de concreto. Quando os agregados reciclados forem utilizados em concretos de cimento Portland destinados a usos não estruturais, artefatos pré-fabricados sem função estrutural e argamassa de assentamento, revestimento e contrapiso, é indicado utilizar as classes ARCO, ARCI e ARM em teores de substituição de até 100% da massa de agregados naturais.

O uso de agregados de concreto reciclados como substitutos de agregados graúdos naturais tem sido extensivamente estudado. A maioria dos estudos indica que taxas de substituição de agregados de concreto reciclado abaixo de 30% não resultam em alterações significativas nas propriedades mecânicas e na durabilidade do concreto resultante (BAI, 2020 e THOMAS et al., 2015). Por isso, segundo a ABNT NBR 12655:2022 – Concreto de cimento Portland, “para cada tipo e classe de concreto a ser colocado em uma estrutura, devem ser realizados os ensaios previstos, além de ensaios e determinações para o controle das propriedades especiais, ensaio de consistência e ensaio de resistência a compressão”. Ainda conforme a ABNT NBR 12655:2022, p. 18 a 19:

Devem ser realizados os ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone seguindo a ABNT NBR 16889:2020 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone e ensaios de resistência, conforme a ABNT NBR 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos realizados em amostras formadas como descrito na ABNT NBR 5738:2016 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Tam (2015), afirma que o uso de agregado graúdo reciclado de resíduos da construção apresenta importantes questões ambientais e de engenharia de construção, também pode ser uma alternativa confiável ao agregado natural em qualquer tipo de indústria da construção, não apenas em aplicações não estruturais. Um estudo realizado pelos pesquisadores Gao et al. , Wang et al. (2021) e Zhou et al. (2017) onde testaram e analisaram a curva tensão-deformação do concreto de agregado reciclado, apontou que ela era semelhante à do concreto natural, a inclinação do ramo ascendente diminuiu gradativamente com um aumento na taxa de substituição enquanto o do ramo descendente tornou-se mais acentuado com uma diminuição no módulo de elasticidade. Bai et al. (2020) concluiu que a resistência à compressão do concreto agregado reciclado diminuiu com o aumento da taxa de substituição independentemente do tipo e qualidade do agregado.

Segundo Helene e Tutikian (2005), a determinação da resistência à compressão tem sido tradicionalmente adotada como o principal parâmetro para a dosagem e controle de qualidade de concretos destinados a diversas obras. Essa preferência se justifica pela relativa simplicidade do procedimento de moldagem dos corpos de prova e pela realização do ensaio de compressão. Além disso, a resistência à compressão destaca-se como um indicador sensível às variações na composição da mistura, possibilitando soluções sobre modificações em outras propriedades do concreto. Conforme destacado por Boggio, (2000, p. 16), para alcançar elevados padrões de desempenho nas propriedades requeridas para o concreto depende não apenas da qualidade dos materiais envolvidos, mas também das proporções entre esses materiais e da tecnologia disponível para o preparo e controle do material.

Diversos métodos de dosagem para concretos estão disponíveis, e embora cada um tenha suas particularidades, algumas etapas são compartilhadas pela maioria deles. Isso inclui a determinação da resistência-alvo e a correlação entre a resistência à compressão e a relação água/cimento, entre outros fatores relevantes. É importante salientar que os métodos de dosagem de concretos não são universalmente aplicáveis, uma vez que são desenvolvidos levando em consideração as condições climáticas, exposição ambiental e os materiais específicos de uma determinada localidade. Essa adaptação localizada é essencial para garantir que o concreto atenda aos requisitos específicos e desafios presentes em cada contexto construtivo. (AHMED et al., 2016, p. 1403-1413).

Ao estabelecer diretrizes para a seleção e proporções dos materiais constituintes, o método de dosagem desenvolvido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) se torna uma ferramenta relevante na busca pela qualidade e eficiência na produção de concreto com trabalhabilidade adequada para moldagem in loco, para uma resistência a compressão fixada em 20MPa e comparação entre os métodos de misturas de concreto nos estados fresco e endurecido (MALTA, 2013). O método ABCP adota em sua metodologia os requisitos

estabelecidos sobre os tipos de cimentos disponíveis na ABNT NBR 16697:2018 – Cimento Portland.

3. METODOLOGIA

Segundo Santos (2001), a metodologia de pesquisa deve ser uma das primeiras decisões, pois antes de iniciar seus estudos, ele deverá saber se procederá de um estudo bibliográfico, de campo, de caso, experimental ou descritiva. Necessitará ter consciência de como irá atuar para obter os dados que o conduzirão aos resultados esperados. Sem esse conhecimento, poderá iniciar seus trabalhos, porém, suas chances de finalizá-los de forma bem-sucedida são limitadas.

A pesquisa aplicada concentra-se em torno dos problemas presentes nas atividades das instituições, organizações, grupos ou atores sociais. Ela está empenhada na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções (THIOLLENT, 2009, p.36).

Esta pesquisa se enquadra quanto ao tipo, como aplicada, pois, possui o intuito de avaliar um dos problemas ocorrentes nas obras de construção civil, que é a geração de resíduos de concreto. Através de pesquisas e testes procuramos alternativas para a reinserção destes resíduos em forma de agregados na preparação do concreto que obtenha os requisitos mínimos necessários para qualidade conforme as normas ABNT NBR 15116:2021 – Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland e ABNT NBR 12655:2022 – Concreto de cimento Portland.

Essa pesquisa se classifica em sua natureza como qualitativa, seguindo o pensamento de Creswell (2014), em uma pesquisa qualitativa devemos analisar os conceitos e definições metodológicas relacionados à pesquisa, servindo como guia para a interpretação científica ampla. Isso ocorre por meio da coleta de dados e experimentos, que contribuem para uma compressão fundamental do objeto de pesquisa. Desta forma, foram utilizados uma análise dos dados levantados por meio de pesquisas bibliográficas, ensaios em laboratórios e laudos técnicos obtidos pelos autores, para verificar se os resultados obtidos compreendem os requisitos mínimos citados na ABNT NBR 15116:2021 – Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland.

De acordo com Appolinário (2011), a pesquisa ou estudo exploratório busca “aumentar a compressão de um fenômeno ainda pouco conhecido, ou de um problema de pesquisa ainda não perfeitamente delineado”. Esse tipo de pesquisa se assemelha a uma pesquisa bibliográfica ou documental quando seu objeto de estudo está centrado em documentos, ou também quando se é realizado um levantamento teórico acerca do tema pelo pesquisador (DEL-MASSO; COTTA; SANTOS, 2014). Seguindo o conhecimento adquirido, classificamos esta pesquisa quanto aos fins, como exploratória, pois busca proporcionar maiores informações sobre o estudo no reaproveitamento dos resíduos reciclados de concreto gerados na construção civil.

Quanto aos métodos utilizados, categorizamos este estudo como uma pesquisa bibliográfica, pois sua base teórica é construída a partir de livros e artigos que exploram aspectos relacionados ao tema. Este tipo de pesquisa está predominantemente associado ao ambiente acadêmico, visando a melhoria e a atualização do conhecimento por meio de uma análise científica de obras previamente publicadas. De acordo com Boccato (2006), a pesquisa bibliográfica tem como objetivo realizar um levantamento e uma análise crítica dos documentos publicados relacionados ao tema de pesquisa, buscando atualizar e desenvolver o conhecimento, além de contribuir para a realização da própria pesquisa.

Esta pesquisa também se classifica como estudo de caso, Yin (2005) aponta que a investigação do estudo de caso é uma situação tecnicamente única na qual há mais variáveis de interesse do que pontos de dados e, portanto, se beneficia do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a coleta de dados e análise.

O universo, ou população, é o conjunto de elementos que possuem as características que serão objeto do estudo, e a amostra, ou população amostral, é uma parte do universo escolhido selecionada a partir de um critério de representatividade. (VERGARA, 2005) .

Assim, o universo pesquisado envolveu o reaproveitamento dos resíduos gerados pela construção civil e demolição. Sendo a amostra delimitada aos resíduos de concreto da subclasse (ARCO), buscando aprofundar-se de maneira específica nesta subclasse.

Pode-se dizer que a coleta de dados foi determinada por análise documental, desenvolvida a partir de pesquisas bibliográficas, ensaios em laboratórios, laudos técnicos, artigos científicos, livros e fotos. A Análise Documental, conforme Lüdke e André (1986, p. 38), “pode se constituir numa técnica valiosa de abordagem de dados qualitativos, seja completando as informações obtidas por outras técnicas, seja desvelando aspectos novos de um tema ou problema”.

Determinamos que os dados serão obtidos a partir dos laudos técnicos disponibilizados pelo laboratório especializado em controle tecnológico de materiais, após realização dos ensaios de compressão nos corpos de prova. Para através destes verificarmos se os requisitos mínimos impostos na norma ABNT NBR 15116:2021 – Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland estão sendo atendidos.

A fase prática deste trabalho foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção Civil, 507 localizado no Centro Universitário Una, Campus Bom Despacho. Os procedimentos e métodos empregados serão abordados a seguir.

Foram utilizados os critérios mencionados na ABNT NBR 15116:2021 – Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland, para produção e recepção dos agregados reciclados obtidos a partir do beneficiamento de resíduos da construção civil e demolição, respeitando os itens descritos na ABNT NBR 12655:2022 – Concreto de cimento Portland, onde dispõe das diretrizes para composição, preparo, controle e aceitação do concreto.

Com base na análise da ABNT NBR 15116:2021 – Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland , os agregados reciclados graúdos originaram-se do beneficiamento dos resíduos de concreto da construção civil e demolição que se enquadram na classe A e subclasse agregado reciclado de concreto (ARCO), devido à falta de britador no laboratório os resíduos foram fragmentados manualmente com utilização de uma marreta conforme apresentado na figura 1 . A distribuição granulometria foi avaliada para garantir que os agregados respeitassem as dimensões estabelecidas pela ABNT NBR 15116:2021 – Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland, e apresentassem uniformidade na sua proporção graúda, tornando-se adequado para utilização.

Figura 1 Fragmentação dos resíduos manualmente



Fonte: Elaborado pelos autores

O agregado reciclado graúdo foi passado por um processo de triagem manual buscando deixar a amostra homogênea, conforme figura 2. Em seguida deu-se início ao procedimento de separação dos agregados, utilizando o processo de peneiramento cujos grãos para serem considerados graúdos devem passar pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficarem retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm conforme figuras 3 e 4, estabelecido na ABNT NBR 15116:2022 – Agregados para concreto - Requisitos.

Figura 2 - Amostra em processo de triagem



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 3 - Pré peneiramento



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 4 - Pós peneiramento



Fonte: Elaborado pelos autores

Os materiais essenciais na produção do concreto de cimento Portland, emprega dois agregados naturais, sendo um gráudo de origem de rocha estáveis fragmentada e britada com dimensão característica entre 12,5 mm e 19 mm, conforme figura 5 e o outro agregado miúdo denominado como areia grossa com modulo de finura com diâmetro entre 2,4 mm e 1,2 mm, mostrado na figura 6, onde a distribuição granulométrica destes devem seguir a ABNT NBR 7211:2022 – Agregados para concreto – Requisitos.

Figura 5 - Agregado gráudo natural



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 6 - Agregado miúdo natural



Fonte: Elaborado pelos autores

O cimento escolhido para utilização no concreto foi o CP II-F 32, conforme figura 7, que segundo o fabricante seguem as exigências estabelecidas pela ABNT NBR 16697:2018 – Cimento Portland - Requisitos.

Figura 7 - Cimento CP II –F 32



Fonte: Elaborado pelos autores

Foram empregados recursos hídricos potáveis provenientes do sistema de abastecimento do campus. Essa água desempenha o papel de promover a ligação entre o cimento e outros aditivos, abrangendo tanto os aglomerantes quanto os aglutinantes.

O método de dosagem do concreto foi baseado na Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), para determinação do traço de concreto, este método sugere condições como do tipo fixação do fator água/cimento (a/c), estima consumo de agregado, cimento e água, tornando a mistura homogênea. O estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland, também conhecido como traço, refere-se aos procedimentos para alcançar a melhor proporção entre os materiais essenciais, conforme figura 8.

Figura 8 - Materiais essenciais para preparo do concreto



Fonte: Elaborado pelos autores

Os critérios estabelecidos para resistência do concreto neste trabalho, seguiram os requisitos normativos, conforme ABNT NBR 6118:2023 – Projetos de estruturas de concreto ABNT e NBR 12655:2022 – Concreto de cimento Portland, estão descritos na figura 09.

Figura 9 -Critérios estabelecidos para resistência do concreto

Resistência a compressão = 20 MPa

Fator água/cimento = 0,52

Classe de resistência à compressão = C20

Classe de agressividade = I

Condição de preparo do concreto = A

Desvio-padrão Mpa - Sd = 4

Fonte: Elaborado pelos autores

Para chegar na dosagem dos materiais utilizados para fabricação do concreto, é necessário realizar o cálculo da resistência, consumo de água, consumo de cimento e o consumo dos agregados graúdos e miúdos, através de equações, conforme decorrer das etapas descritas abaixo:

Etapa 1: Determinar relação água/cimento – a/c, baseado na equação 1:

$$f_{cm} = 28 \text{ dias} = f_{ckj} + 1,65 \times sd \quad (1)$$

$$f_{cm} = 28 \text{ dias} = 20,0 + 1,65 \times 4 = 26,6 \text{ MPa} \quad (2)$$

Onde:

- f_{cm} = resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade j dias, expressa em megaPascal (MPa);
- f_{ck} = resistência a compressão de concreto à compressão, aos j dias (para o estudo, 28 dias), expressa em megaPascal (MPa);
- s_d = desvio padrão que é definido teoricamente em função de como será preparado o concreto, conforme figura 10.

Figura 10 - Condições desvio padrão

a) condição A – $S_d = 4,0$ MPa - (aplicável a todas as classes de concreto): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento e medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados;
b) condição B – $S_d = 5,5$ MPa - (pode ser aplicada às classes C10 a C20): o cimento é medido em massa, a água de amassamento e medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medido sem massa combinada com volume, de acordo com o exposto em 5.4;
c) condição C - $S_d = 7,0$ MPa - (pode ser aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15): o cimento e medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento e medida em volume e a sua quantidade e corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na ABNT NBR 16889 ou outro método normatizado.

Fonte: ABNT NBR 12655:2022

Para determinar consumo de água e cimento é necessário estipular um valor para o ensaio do abatimento do tronco de cone (*slump test*), estipulado de acordo com o tamanho máximo do agregado graúdo que será utilizado na mistura, conforme tabela 1:

Tabela 1 - Consumo de água

Consumo de água aproximada (l/m ³)					
Abatimento (mm)	D _{máx} agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: (RODRIGUES, 1998)

Adotado abatimento de 90 mm e diâmetro máximo do agregado graúdo de 19mm, desta forma encontramos o consumo de água abaixo:



Consumo de cimento é dado conforme equação 3:

$$Cc = \frac{Ca}{a/c} \quad (3)$$

$$Cc = \frac{205}{0,52} = 394 \text{ kg/m}^3 \quad (4)$$

Consumo cimento = 394 kg/m³

Onde:

- Cc = consumo de cimento;
- Ca = consumo de água;
- a/c = relação água/cimento.

Etapa 2: Determinar consumo de agregado graúdo (Cb), conforme tabela 2:

O agregado graúdo é definido através:

- Dmáx = Dimensão máxima do agregado graúdo;
- MF = Módulo de finura do agregado miúdo;
- Vb % = Volume do agregado expresso em percentagem.

Tabela 2 - Determinação agregado graúdo

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
	(% de agregado graúdo (Vb))				
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: (RODRIGUES, 1998)

Com o cruzamento do módulo de finura da areia grossa que é de 2,4 mm e o diâmetro máximo do agregado graúdo de 19mm, desta forma encontramos o volume do agregado graúdo em percentagem:



A determinação do consumo de agregado graúdo (C_b) é dado utilizando a equação 5:

$$C_b = V_b \times M_u \quad (5)$$

$$C_b = 0,710 \times 1500 = 1065 \text{ kg/m}^3 \quad (6)$$

Onde:

- C_b = Consumo de brita;
- V_b = Porcentagem do agregado graúdo (brita) seco por m^3 de concreto, de acordo com Tabela 2;
- M_u = Massa unitária compactada do agregado graúdo (brita), considerar 1500 para brita 1.

Etapa 3: Determinar consumo de agregado miúdo, dado pelas equações 7 e 9:

O agregado miúdo é definido através:

Teor de pasta (relação água/cimento)

Consumo de agregado graúdo

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (7)$$

$$V_m = 1 - \left(\frac{394}{3100} + \frac{1065}{2700} + \frac{205}{1000} \right) = 0,274 \text{ m}^3 \quad (8)$$

$$C_m = \gamma_m \times V_m \quad (9)$$

$$C_m = 0,274 \times 2580 = 707 \text{ kg/m}^3 \quad (10)$$

Onde:

- V_m = volume de areia;
- C_c = consumo de cimento;
 γ_c – massa específica do cimento = $C_{PII} - 32\text{MPa} = 3100$
- C_b = consumo de brita;
 γ_b – massa específica da brita = brita1 = 2700
- C_a = consumo de água;
 γ_a – massa específica da água = 1000
- C_m = consumo de areia;
 γ_m – massa específica da areia = areia grossa = 2580

Etapa 4: Para determinar o quantitativo de materiais na preparação do concreto, obtém-se o traço a partir da equação 11:

cimento : areia : brita : a/c

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (11)$$

$$\frac{394}{394} : \frac{707}{394} : \frac{1065}{394} : \frac{205}{394} \quad (12)$$

$$1,0 : 1,80 : 2,70 : 0,52 \quad (13)$$

Onde:

- Cc = consumo de cimento;
- Cm = consumo de areia;
- Cb = consumo de brita;
- Ca = consumo de água;

Conforme os cálculos apresentados anteriormente, os resultados encontrados utilizando o método ABCP para definição do traço na preparação de 1,0 metro cúbico de concreto de Cimento Portland estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantitativo de materiais utilizados nas misturas

Resultado do traço de concreto		
Materiais	1,0 m ³	Unit. (kg)
Cimento	394	1,0
Areia grossa	707	1,80
Brita 1	1065	2,70
Água	205	0,52

Fonte: Elaborado pelos autores

Para o procedimento de mistura na produção do concreto foi utilizada uma caixa plástica retangular para massa, de 20 litros, que possibilitou o espalhamento e mistura do material, conforme figura 11.

Figura 11 - Recipiente utilizado para produção da mistura



Fonte: Elaborado pelos autores

Foram realizadas duas misturas dos materiais, sendo a primeira com 100% de agregado graúdo reciclado, conforme figura 12, e a segunda com 100% de agregado graúdo natural, de acordo com figura 13, ambos realizados de forma manual e podem ser detalhados nos estágios a seguir:

Mistura 1 – Concreto com agregado graúdo reciclado:

- Adicionado o cimento na caixa plástica;
- Acrescente 100% do agregado reciclado graúdo na caixa plástica;
- Inserir 50% do volume de água da mistura, e faça a mistura manualmente com o auxílio de colher de pedreiro;
- Introduzir o agregado miúdo a mistura;
- Inserir o restante de volume de água na mistura;
- Incorporar os materiais até obter um concreto homogêneo.

2 – Concreto com agregado graúdo natural:

- Adicionado o cimento na caixa plástica;
- Acrescente 100% do agregado graúdo natural na caixa plástica;
- Inserir 50% do volume de água da mistura, e faça a mistura manualmente com o auxílio de colher de pedreiro;
- Introduzir o agregado miúdo a mistura;
- Inserir o restante de volume de água na mistura;
- Incorporar os materiais até obter um concreto homogêneo.

Figura 12- Mistura com agregado graúdo reciclado



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 13 – Mistura com agregado graúdo natural



Fonte: Elaborado pelos autores

Após preparação do concreto foram realizados ensaios normatizados para caracterização das propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido.

Para determinar a consistência do concreto fresco, utilizamos o ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), seguindo todos os parâmetros conforme norma de ensaio ABNT NBR 16889:2020 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

O *Slump test* consiste em preencher o molde tronco cônico com concreto, que pode ter sido feito manualmente, em 3 camadas, com 1/3 da altura do molde. Para adensamento, em cada camada devem ser realizados 25 golpes utilizando a haste. O desmolde deve ser realizado

de 4 a 6 segundos, com movimento constante vertical, sem que o concreto seja submetido a movimentos de torções laterais. Após a retirada do molde, deve ser medido o abatimento do concreto imediatamente, sendo a diferença de altura entre o eixo do corpo-de-prova e a altura do cone, dado em centímetros. O procedimento de *Slump test* foi realizado para as duas amostras de misturas, conforme figura 14, amostra 1.

Figura 14 - Etapas de *Slump Test*



Fonte: Elaborado pelos autores

O ensaio complementar realizado foi o de resistência à compressão, uma avaliação fundamental na caracterização das propriedades mecânicas do concreto. Nesse procedimento, corpos de prova cilíndricos são submetidos a cargas compressivas até a sua falha estrutural. O procedimento para medir a resistência mecânica do concreto de acordo com os parâmetros mínimos de aplicação é o ensaio de compressão, normatizado pela ABNT NBR 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, os corpos de prova foram ensaiados com as idades 7 e 28 dias.

Figura 15 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 16 – Moldagem finalizada dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelos autores

Para as misturas estudadas, foram moldados 4 corpos de prova com dimensões de diâmetro e altura fixadas em 10 cm e 20 cm, conforme figura 15 e figura 16, respectivamente, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 5738:2016 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

A metodologia de moldagem dos corpos de prova definidos na ABNT NBR 5738:2016 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, consiste na distribuição uniforme do concreto na forma com auxílio da concha de seção U, em duas camadas e após cada camada deve-se realizar o adensamento manual de 12 golpes com a haste. Antes da moldagem, efetuamos a inspeção visual em cada forma, em seguida realizamos a limpeza, fechamento e aplicação de lubrificante no interior para facilitar o desmolde.

Posteriormente a moldagem, foram separados em lotes e identificados com data e agregado graúdo utilizado. Após 24 horas foram desmoldados e armazenados em câmara úmida que segue os critérios estabelecidos na ABNT NBR 5738:2016 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, conforme figura 17. Considerando os intervalos de tempo mencionados anteriormente (7 e 28 dias), os corpos de prova foram submetidos a um procedimento de retificação de suas faces para alcançar uma maior uniformidade nas superfícies. Os corpos de prova foram rompidos com a utilização da prensa hidráulica modelo série 126, de acordo com a figura 18.

Figura 17 – Câmara Úmida



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 18 – Prensa hidráulica 126



Fonte: Elaborado pelos autores

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho apresenta os resultados referente a avaliação do desempenho do agregado graúdo reciclado de concreto (ARCO) como alternativa para substituição do agregado natural graúdo na preparação do concreto sem função estrutural.

Após concluído os processos de mistura dos concretos e ensaios citados no tópico anterior (*slump test* e resistência a compressão). Trazemos na Tabela 4, os dados obtidos nos ensaios de abatimento do tronco de cone (*slump test*) para caracterização no estado fresco.

Tabela 4 – Propriedades do concreto no estado fresco

Misturas	Slump test (cm)
100% Natural	15
100% Reciclado	10

Fonte: Elaborado pelos autores

Os resultados obtidos no teste de abatimento do tronco de cone indicados na figura 19, mostra pouca fluidez e dificuldade de manuseio do concreto, que pode ser devido a não ter ocorrido ajustes na dosagem quanto ao teor de argamassa do traço, uma vez que o fator a/c não foi alterado. É notável a observação de um valor inferior na mistura com 100% de agregado reciclado, o que é coerente com as características destes agregados, como porosidade e presença de argamassa aderida.

Figura 19 - Agregado graúdo reciclado



Fonte: Elaborado pelos autores

O ensaio de resistência à compressão é essencial para determinação da resistência do material, conforme figura 20, este ensaio fornece informações fundamentais sobre a capacidade do concreto de suportar cargas compressivas. Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas e armazenados em câmara úmida, durante o processo de cura do concreto, respeitando os seguintes intervalos de tempo para rompimento: 7 e 28, conforme ABNT NBR 5738:2016 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Devido à realização de testes em datas distintas de cura do concreto, foi possível monitorar o desenvolvimento da resistência das amostras nos valores em cada intervalo de tempo, conforme gráfico 1.

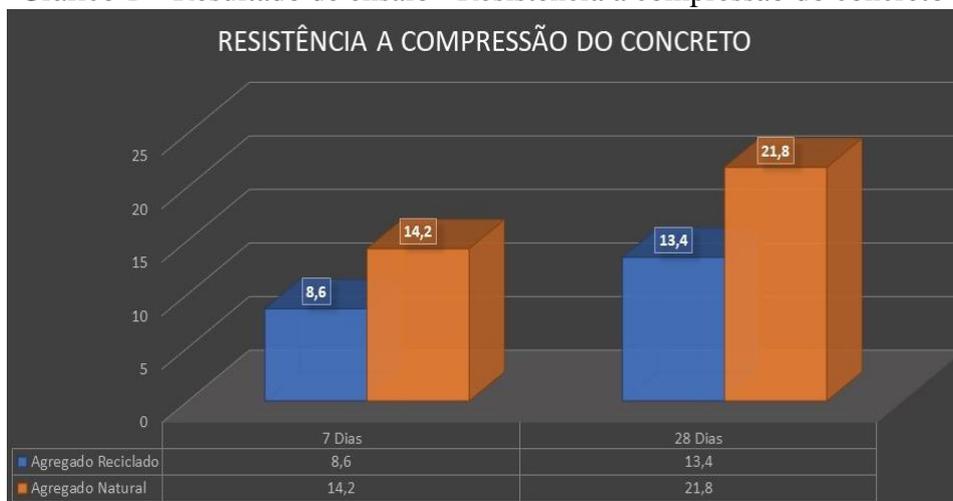
Quanto aos resultados de resistência a compressão, a mistura com 100% de agregado natural demonstrou desempenho satisfatório após 28 dias, superando os 20 MPa estabelecido como referência e alinhando-se com a classe definida pela ABNT NBR 6118:2023. Por outro lado, a mistura contendo 100% de agregado reciclado apresentou resultados inferiores ao requisito mínimo após 28 dias, registrando 14,2 MPa, o que representa uma redução de 29% em comparação com a resistência a compressão ($f_{ck} = 20$ MPa).

Figura 20 – Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Elaborado pelos autores

Gráfico 1 – Resultado de ensaio - Resistência a compressão do concreto



Fonte: Elaborado pelos autores

5. CONCLUSÕES

Em conclusão, este estudo propõe uma avaliação significativa no uso de resíduos da construção e demolição, especificamente os classificados como agregados reciclados para argamassas e concretos de cimento Portland, pertencentes à classe A, da subclasse agregado reciclado de concreto (ARCO), composto principalmente por resíduos de concreto. Vale salientar que os resíduos reciclados foram utilizados como substituição do agregado graúdo natural para produção do concreto de cimento Portland destinados a usos não estruturais seguindo os limites equivalentes permitidos na ABNT NBR 15116:2021 – Agregado reciclado para uso em argamassas e concretos de cimento Portland.

Levando em consideração a pesquisa efetuada e os dados provenientes dos testes realizados neste estudo, pode-se concluir que a incorporação de agregados reciclados no concreto viabiliza a análise de diversos parâmetros relacionados ao reaproveitamento dos resíduos da construção civil e demolição.

No ensaio do abatimento do tronco de cone (*slump test*), nos agregados reciclados, observou uma variação no abatimento do cone, onde verificamos que a consistência do concreto apresentou menor trabalhabilidade, dificultando a sua moldagem. Posteriormente ao experimento, constatamos que devido ao agregado reciclado possuir maior porosidade e conseqüentemente maior absorção de água que o agregado natural, devemos considerar uma dosagem diferente da relação a/c para sua utilização.

Os resultados obtidos a partir do teste de resistência à compressão desempenham um papel crucial no projeto, garantindo a segurança e a durabilidade dessas construções. Considerando a resistência à compressão do agregado reciclado, observa-se que ela é afetada por diversos elementos, tais como a proporção dos ingredientes na mistura de concreto, a qualidade dos materiais empregados e os métodos de cura.

O concreto produzido com 100% de agregado natural atingiu a resistência máxima à compressão desejada, indicando a necessidade de reavaliar a estratégia de empregar uma relação de substituição total do agregado reciclado como método de dimensionamento de misturas. Os resultados experimentais deste estudo deixaram claro que o emprego de 100% de agregados de resíduo reciclado do tipo ARCO, na formulação de uma nova mistura acarreta efeitos adversos em suas propriedades, em comparação com a utilização do agregado natural. Essa situação decorre principalmente da presença de argamassa antiga aderida ao agregado reciclado, o que resulta em uma maior porosidade, permeabilidade e menor densidade quando comparado ao agregado natural.

De maneira geral, as propriedades dos agregados reciclados cumpriram com as especificações para sua utilização, conforme estabelecido na ABNT NBR 15116:2021 - Agregado reciclado para uso em argamassas e concretos de cimento Portland, para produção e recepção dos agregados graúdos destinados à produção de concretos de cimento. Porém, reside na dificuldade em atingir a resistência estipulada de 20 MPa, conforme figura 9. Mas mesmo não atingindo os parâmetros de resistência, o concreto se enquadra conforme o objetivo do estudo, que é a utilização de agregado reciclado graúdo como alternativa sustentável em concreto de cimento Portland sem função estrutural, podendo ser usado em artefatos pré-fabricados sem função estrutural e argamassa de assentamento, revestimento e contrapiso.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, pois Ele foi essencial em todas as nossas conquistas e superações. Agradecemos também às nossas famílias e amigos pela compreensão, incentivo e paciência durante todo o processo de pesquisa.

Aos nossos professores, pelas correções e ensinamentos que nos permitiram apresentar um melhor desempenho em nosso processo de formação ao longo da vida. E em particular a professora Sheila Leal, pela orientação e conhecimento transmitido para a elaboração deste trabalho e a banca examinadora pelos comentários e avaliações.

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o seu desenvolvimento. Muito obrigado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2016**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2018**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2023**. Projeto estrutural de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2022**. Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:2022**. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116:2021** Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697:2018**. Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889:2020**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

AB FRAJ et al. **Concreto à base de agregados reciclados – Reciclagem e análise ambiental: Um estudo de caso na região de Paris**, Construir Mater, 2017

AHMED, M.; ISLAM, S.; NAZAR, S.; KHAN, R. A. **A Comparative study of popular concrete mix design methods from qualitative and cost-effective point of view for extreme environment**. Arabian Journal for Science and Engineering, v. 41, n. 4, p. 1403-1413, 2016.

ANKUR, Nitin. **Performance of cement mortars and concretes containing residual coal ash: a comprehensive review - Renew. To sustain. Renewable Energy**, 2021.

APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de Metodologia Científica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, p. 295, 2011.

Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição, **Relatório Pesquisa Setorial 2017/2018** ABRECON, 2018, p. 75.

B. WANG et al. **Uma revisão abrangente sobre agregado reciclado e concreto agregado reciclado** - Recurso. Conservar. Reciclar, 2021.

BOCCATO, V. R. C. **Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação**. Rev. Odontol. Univ. Cidade São Paulo, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006.

BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland**, 2000.

BOHNENBERGER, J. C. et al. **Identification of areas for the implementation of a construction and demolition waste recycling plant using multi-criteria analysis**. Built Environment, v. 18, n. 1, p. 299-311, 2018.

C. THOMAS, J. SETIÉN, JA POLANCO, P. ALAEJOS E M. SÁNCHEZ DE JUAN, **"Durabilidade do concreto agregado reciclado"**, Constr. Construir. Matéria, vol. 40, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.106>. Acesso: 05 nov. 2023.

CH ZHOU et al. **Propriedades mecânicas do concreto reciclado produzido com diferentes tipos de agregado graúdo** - Construir. Construir. Matéria, 2017.

CONCEIÇÃO, M. M. M. et al. **Diagnóstico dos resíduos de demolição e construção no Brasil**, Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/35588>. Acesso: 28 out. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA 307: Gestão de Resíduos e Produtos Perigosos – Art.3º - pg. 806**. Brasília: CONAMA, 2002.

CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. Porto Alegre, RS: Penso, 2014.

DEL-MASSO, M. C. S.; COTTA; M. A. C.; SANTOS, M. A. P. **Ética em Pesquisa Científica: conceitos e finalidades**. São Paulo, UNESP: 2014.

G. BAI, C. ZHU, C. LIU E B. LIU, **"Uma avaliação das características do agregado reciclado e das propriedades mecânicas do concreto do agregado reciclado"**, Constr. Construir. Matéria, vol. 240, Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117978>. Acesso: 05 nov. 2023.

GENG, S. et al. **Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 76, p. 176-184, 2017.

GL BAI et al. **Uma avaliação das características do agregado reciclado e das propriedades mecânicas do concreto agregado reciclado** - Construir. Construir. Matéria, 2020.

HELENE; TUTIKIAN, et al. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2, 439-471, 2005.

HOWDEN - **Concrete vs Cement: What's the Difference**, 2020.

ISLAM, R. et al. **An empirical study of construction and demolition waste generation and implications of recycling** - Waste management, 2019.

J.JIANG et al. **Viabilidade de fabricação de compósitos cimentícios de altíssimo desempenho (UHPCCs) com areia reciclada: um estudo preliminar**. Gestão de Resíduos, 2019.

KABIRIFAR, K; MOITAHEDI, M; WANG, C; TAM, V. **Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121265>. Acesso: 21 out. 2023.

KURDA, R. et al. **Influence of recycled aggregates and high contents of fly ash on concrete fresh properties** - Cem. Concr. Compos., 2017.

LAVADO, J. et al. **Fresh properties of recycled aggregate concrete** - Constr. Build. Mater., 2020.

LIU, X. et al. **Enhanced early hydration and mechanical properties of cement-based materials with recycled concrete powder modified by nano-silica**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104175>. Acesso: 22 out. 2023.

MALTA, JULIANA OLIVEIRA. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. 2013.

PARK, J; TUCKER, R. **Overcoming barriers to construction waste reuse in Australia: a literature review**, Internacional J.Constr. Gerenciar. , 17, 2017.

REHMAN MU; RASHID K; HAQ EU; HUSSAIN M; SHEHZAD N. **Desempenho físico-mecânico e durabilidade de agregados artificiais leves sintetizados por cimentação e geopolimerização**. Constr. Construir. Matéria., 232, 2020. Disponível em: Artigo 117.290,10.1016/j.conbuildmat.2019.117290. Acesso: 22 out. 2023.

S. GAO et al. **Aproveitamento da ganga de carvão como agregado graúdo em concreto estrutural** - Construir. Construir. Matéria, 2021.

SANTOS, ANTONIO RAIMUNDO. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. Rio de Janeiro: DP & A editora, 2001.

SENGER, V. A.; SENGHER, A. S. **Reaproveitamento de resíduos laboratoriais como agregado na confecção de concreto estrutural**. 2020. 5 f. Journal of Biotechnology and biodiversity. Instituto Federal Farroupilha, Brasil, 2020.

SHMILLS, M. et al. **Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.070>. Acesso: 22 out. 2023.

SINGH, N. et al. **Reviewing the properties of recycled concrete aggregates and iron slag in concrete** - J. Construir. Eng., 2022.

THIOLLENT, **Metodologia de Pesquisa-ação**. São Paulo: Saraiva, 2009.

VERGARA SYLVIA, Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2005.

VERIAN, K.P; ASHRAF, W; CAO, Y. **Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production** - Resour., Conserv. Recycl., 133, 2018, pp. 30-49. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.005>. Acesso: 22 out. 2023.

VIJAYARAGHAVAN, J et al. Efeito da escória de cobre, escória de ferro e agregado de concreto reciclado nas propriedades mecânicas do concreto - Recurso. Política, 2017.

WY TAM - Long-term deformation behaviour of recycled aggregate concrete, 2015.
Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815304359?via%3Dihub>.
Acesso: 05 nov. 2023.

YIN, R.K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2005