



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL**

ROBERTO CARLOS FLORES DE BARROS

**APLICAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, PROCESSOS DE RECICLAGEM E EFEITOS NA
RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS**

**UBÁ/MG
2024**

ROBERTO CARLOS FLORES DE BARROS

**APLICAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, PROCESSOS DE RECICLAGEM E EFEITOS NA
RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Suymara Toledo Miranda.

**UBÁ/MG
2024**

APLICAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, PROCESSOS DE RECICLAGEM E EFEITOS NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS

RESUMO

O setor da construção civil tem experimentado um crescimento contínuo, resultando em um aumento significativo na geração de resíduos sólidos. Isso torna fundamental a adoção de práticas adequadas para a gestão e destinação desses materiais, visando a mitigação dos impactos ambientais. Dentre os resíduos gerados, os agregados são particularmente intensivos, o que reforça a necessidade de um gerenciamento sustentável. Este trabalho, por meio de uma revisão bibliográfica, tem como objetivo, a partir de uma revisão bibliográfica, estudar a aplicação de materiais reciclados na construção civil, investigando as normas e inovações tecnológicas no reaproveitamento de resíduos. Especificamente, pretende-se estudar o processo de reciclagem de resíduos classe A e a fabricação de blocos com materiais reciclados, além de explorar a aplicação da ferramenta *Building Information Modeling* (BIM) na gestão e no planejamento de resíduos, incluindo a produção de concreto com agregados reciclados provenientes de resíduos de concreto. O estudo demonstra que o uso de concreto com agregados reciclados e de blocos de concreto com materiais reciclados, pode ser uma solução prática e viável, com propriedades semelhantes às dos materiais convencionais e benefícios na economia de recursos naturais. A aplicação de normas como as da ABNT garante a segurança e a qualidade desses materiais, enquanto o uso de tecnologias como o BIM aprimora o gerenciamento e viabiliza a instalação de usinas de reciclagem. Ao longo do estudo, foi evidenciado que o reaproveitamento de materiais reciclados contribui para a redução dos impactos ambientais, sendo uma solução eficaz para os desafios enfrentados pelo setor, sempre respeitando o limite de 20% de substituição dos agregados na produção do concreto, conforme a NBR 15116.

Palavras-chave: Resíduos de construção. Reciclagem. Materiais.

APPLICATION OF RECYCLED MATERIALS IN CIVIL CONSTRUCTION: TECHNOLOGICAL INNOVATIONS, RECYCLING PROCESSES AND EFFECTS ON THE STRENGTH OF CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATES

ABSTRACT

The construction industry has experienced continuous growth, leading to an increase in the generation of solid waste. This highlights the need for proper waste management practices to mitigate environmental impacts. Among the waste generated, aggregates are particularly intensive, emphasizing the importance of sustainable management. This study, through a bibliographic review, aims to analyze the application of recycled materials in construction, investigating the norms and technological innovations in the reuse of waste, such as Class A waste, and the production of recycled blocks. It also explores the use of Building Information Modeling (BIM) in waste management and the environmental impacts of reusing materials, including the production of concrete with recycled aggregates from concrete waste. The study demonstrates that the use of recycled materials, such as blocks and aggregates, can be a practical and viable solution, with properties similar to conventional materials and benefits in saving natural resources. The application of standards, such as those from ABNT, ensures the safety and quality of these materials, while technologies like BIM enhance management and facilitate the establishment of recycling plants. The study concludes that the reuse of recycled materials significantly reduces environmental impacts, offering an effective solution to the challenges faced by the sector, provided the 20% substitution limit for aggregates is respected, as outlined in NBR 15116.

Keywords: Construction waste. Recycling. Materials

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais importantes da economia global, mas também figura como uma das maiores fontes de resíduos. Esse volume de desperdício resulta de fatores como o uso de materiais de baixa qualidade, falta de controle tecnológico e resíduos gerados por reformas e demolições. Uma alternativa sustentável para reduzir esses impactos é a reutilização dos resíduos da construção como agregados reciclados em materiais cimentícios, substituindo parcialmente os agregados naturais. Para a produção de concreto estrutural, a NBR 15116 recomenda um limite de substituição de até 20% desses agregados. São utilizados, os resíduos de Classe A, que incluem sobras de concreto, argamassa e outros materiais inertes e que representam um grande desafio, tanto no descarte quanto na adoção de práticas sustentáveis. Assim, o uso de materiais reciclados surge como uma solução promissora, com potencial para minimizar o impacto ambiental e promover inovações e economia de recursos no setor (RESENDE *et al.*, 2022).

Nos últimos anos, o aproveitamento de resíduos para fabricar materiais de construção vem crescendo, com destaque para o uso de blocos e concreto com agregados reciclados. Eles apresentam propriedades semelhantes aos materiais convencionais, mas precisam seguir normas técnicas que garantam sua segurança e qualidade (COSTA *et al.*, 2023).

As inovações tecnológicas também têm impulsionado esse movimento, especialmente com o uso da ferramenta BIM (*Building Information Modeling*), que permite integrar o ciclo de vida dos materiais e melhorar o gerenciamento dos resíduos de forma eficiente (SANTOS *et al.*, 2022).

Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo apresentar, a partir de uma revisão bibliográfica, o estudo da utilização de materiais reciclados na construção civil, investigando as normas e inovações tecnológicas no reaproveitamento de resíduos. Especificamente, pretende-se estudar o processo de reciclagem de resíduos classe A e a fabricação de blocos de concreto com materiais reciclados, além de explorar a aplicação da ferramenta *Building Information Modeling* (BIM) na gestão e no planejamento de resíduos. O trabalho também busca mostrar os impactos ambientais do reaproveitamento desses materiais e apresentar a produção de concreto com a incorporação de agregados reciclados provenientes de resíduos de concreto, destacando as vantagens e desafios dessa prática para a construção sustentável. Esse trabalho se justifica devido ao fato da construção civil consumir uma grande quantidade de recursos naturais e gerar muitos resíduos, o que torna urgente a busca por soluções mais sustentáveis. O uso de materiais reciclados, como os agregados provenientes de resíduos de demolição, surge como uma alternativa importante para reduzir os impactos ambientais e incentivar a economia circular.

Porém, existem desafios, como a interação do concreto com esses materiais reciclados, que precisam ser estudados a fundo para garantir que sua aplicação seja segura e eficiente. Com isso, esta pesquisa busca contribuir para o avanço das práticas sustentáveis no setor, promovendo soluções que unam economia, qualidade e respeito ao meio ambiente.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais reciclados e sua aplicação na construção civil

Conforme Lima *et al.* (2022), o modelo vigente da construção civil gera diversos impactos ambientais em todas as etapas. Isso ocorre devido ao uso intensivo de recursos não renováveis, além do alto consumo de energia, tanto na extração, transporte quanto na preparação dos materiais. Ademais, o setor é caracterizado pelo desperdício de recursos, o que o coloca entre os maiores produtores de resíduos na sociedade.

De acordo com Leal *et al.* (2021), a construção civil emprega uma grande diversidade de materiais, desde a preparação do solo até a finalização do projeto. Entre eles estão colas, concreto, tintas, resinas, madeira, plástico e vidro, entre outros. Quando esses materiais deixam de ser usados, muitas vezes são descartados de forma inadequada, o que pode resultar na contaminação do solo. Por isso, é fundamental conhecer os métodos corretos de descarte, que não apenas previnem essa contaminação, mas também contribuem para a redução do desperdício de materiais excedentes ou que já não têm utilidade.

Conforme a Resolução Conama 307 (2002), os resíduos da construção civil são classificados da seguinte maneira:

- **Classe A:** resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e outras obras de infraestrutura, incluindo solos provenientes de terraplanagem; b) resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) resíduos de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas de concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
- **Classe B:** resíduos recicláveis para outras finalidades, como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
- **Classe C:** resíduos para os quais ainda não existem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que possibilitem sua reciclagem ou recuperação.

Classe D: resíduos perigosos resultantes do processo de construção, como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados e prejudiciais à saúde, oriundos de

demolições, reformas e reparos em clínicas radiológicas, instalações industriais, entre outros. Incluem-se também telhas e materiais contendo amianto ou outras substâncias nocivas à saúde.

Segundo Lopes *et al.* (2021), para reduzir a geração de resíduos na construção civil, existem soluções viáveis como a reutilização, que é definida como a utilização dos resíduos nas condições que ele é descartado, submetendo-o a pouco ou nenhum tratamento. Outra alternativa é a reciclagem, definida como aproveitamento dos resíduos após ter sido beneficiado por processo de transformação. Isso inclui o reaproveitamento no próprio canteiro de obras, em usinas de beneficiamento móveis ou fixas, usinas de reciclagem, indústrias de cimento, siderurgia e até na agricultura. Os processos para a produção de agregados reciclados envolvem basicamente moagem e peneiramento, e as etapas de reciclagem são: recebimento do Resíduo da Construção Civil (RCC), triagem, trituração, separação magnética e seleção granulométrica (areia, pedrisco, pedra, agregado).

O RCC reciclado possui diversas aplicações, podendo ser utilizado em obras de pavimentação, na fabricação de argamassas, blocos e artefatos de concreto, além de ser empregado em sistemas de drenagem para obras de contenção e em elementos não estruturais (SILVA *et al.*, 2023).

2.2 Normas

No contexto governamental, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais, foi instituído um regulamento específico antes da implementação de uma política pública abrangente para a gestão de resíduos no país: a Resolução CONAMA n.º 307, de 2002 (BRASIL, 2002). Esse documento estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC). Posteriormente, a política foi formalizada e sancionada por meio da Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto n.º 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Essa legislação atribui explicitamente aos geradores a responsabilidade pela gestão dos seus resíduos, incluindo aqueles oriundos das atividades de construção (BRASIL, 2010).

Desde a promulgação da Lei n.º 12.305 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os municípios brasileiros foram incentivados a desenvolver Planos de Gerenciamento de Resíduos (PGR), com o intuito de mitigar os impactos ambientais dos resíduos. No entanto, mesmo com as diretrizes da Resolução n.º 307/2002 do CONAMA e da Lei n.º 12.305/2010, a implementação efetiva desses planos ainda enfrenta obstáculos. A Resolução n.º 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente estabelece a obrigação dos geradores de segregar os resíduos, incentivar sua reutilização e reciclagem, além de garantir sua destinação final adequada.

Em 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou normas específicas referentes aos Resíduos da Construção Civil (RCC), desenvolvidas por Comitês Técnicos. O QUADRO 1 apresenta as NBR que abordam esse tema.

QUADRO 1: Normas técnicas sobre RCC

Norma	Título	Objetivo
NBR 15112	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação	Implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos
NBR 15113	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes de projeto, implantação e operação	Implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes.
NBR 15114	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes de projeto, implantação e operação	Implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A
NBR 15115	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camada de pavimento – Procedimentos.	Execução de camada de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como camada de revestimento primário, com agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, denominado agregado reciclado, em obras de pavimentação.
NBR 15116	Agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.	Emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

Fonte: ABNT (2004)

2.3 Inovações tecnológicas no reaproveitamento de resíduos na construção civil

A crescente demanda por práticas sustentáveis na construção civil tem motivado a criação de soluções inovadoras para reduzir os impactos ambientais desse setor. Nesse cenário, a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) se destaca como uma estratégia essencial, promovendo o reaproveitamento de materiais que, de outra forma, seriam descartados de maneira inadequada. Um dos usos mais promissores desses resíduos é a produção de blocos ecológicos, fabricados com materiais reciclados, o que diminui a extração de recursos naturais e reduz a quantidade de entulho gerado (SCHEIFER *et al* 2021). Além disso, a adoção da metodologia BIM (*Building Information Modeling*) na gestão de resíduos se mostra crucial para otimizar o planejamento, controle e destinação correta desses materiais, garantindo uma abordagem mais integrada e eficiente ao longo de todo o ciclo de vida do projeto (LUZ, RIBEIRO 2024).

2.3.1 Processo de reciclagem de resíduos classe A

A utilização de matéria prima nas construções, faz do setor um dos maiores degradadores ao meio ambiente. A reciclagem dos resíduos da construção civil é uma alternativa para a preservação ambiental. Além de reduzir os custos associados ao descarte desses resíduos, ela contribui para diminuir os depósitos clandestinos de entulho. Após o processo de reciclagem, os resíduos podem ser reutilizados nas obras de construção civil como agregados. A qualidade e as dimensões desses materiais determinam sua aplicação mais adequada (LOPES *et al.*, 2023).

Conforme Marques *et al.* (2020), para o processo de reciclagem, a primeira fase envolveu o recebimento e a seleção dos resíduos pelos operadores. Os resíduos classificados como Classe A foram aceitos e encaminhados para a triagem, enquanto os das Classes B, C e D foram rejeitadas, sendo devolvidos ao gerador ou enviados para outras empresas de reciclagem. Isso se deveu à dificuldade de reaproveitamento e, no caso de resíduos perigosos, à necessidade de uma destinação especial. O transporte foi realizado por caminhões basculantes e caçambas. No momento da recepção da carga, foi feito o registro de carregamento, visando coletar dados do gerador, do responsável pelo transporte e informações sobre a obra. Esse registro permitiu o rastreamento dos resíduos e do transportador, além de auxiliar no gerenciamento da produção e do estoque, alimentando uma base de dados para o controle dos processos da empresa. Após o recebimento dos resíduos foi realizada a triagem (FIG. 2) por meio de catação.

Figura 2: Triagem



Fonte: Marques et al. (2020)

A FIG.3 representa resíduos de construção classe A após a triagem, que serão conduzidos até o alimentador vibratório, responsável por dosar corretamente o material que será processado no britador. A separação das partículas finas do solo, realizada de forma vibratória oferece várias vantagens, incluindo a redução de impurezas no agregado reciclado, o que aprimora seu desempenho (FERIS et al., 2023).

Figura 3: Resíduos Classe A.



Fonte: Feris et al. (2023)

O transporte do material foi feito com o auxílio de uma retroscavadeira, que o depositou no alimentador vibratório do sistema de britagem. A FIG. 4 ilustra o sistema, que é composto por esteiras, alimentador, britador, peneira e separador. A matéria-prima introduzida no alimentador, após a remoção do material terroso, foi direcionada ao britador de mandíbulas para trituração. O material triturado seguiu para uma esteira transportadora apoiada em um transportador radial, que possibilitou a movimentação em um ângulo de cerca de 45°, depositando o produto conhecido como brita granulada, conforme ilustrado na FIG. 5 (MARQUES *et al.*, 2020).

Figura 4: Alimentador vibratório



Fonte: Marques *et al.* (2020)

O transporte do material foi feito com o auxílio de uma retroescavadeira, que o depositou no alimentador vibratório do sistema de britagem. A FIG. 4 ilustra o sistema, que é composto por esteiras, alimentador, britador, peneira e separador. A matéria-prima introduzida no alimentador, após a remoção do material terroso, foi direcionada ao britador de mandíbulas para trituração. O material triturado seguiu para uma esteira transportadora apoiada em um transportador radial, que possibilitou a movimentação em um ângulo de cerca de 45°, depositando o produto conhecido como brita granulada, conforme ilustrado na FIG. 5 (MARQUES *et al.*, 2020).

Figura 4: Alimentador vibratório



Fonte: Marques *et al.* (2020)

Figura 5: Brita granulada



Fonte: Marques *et al.* (2020)

O material triturado destinado à produção de agregados do transportador é depositado sobre um conjunto de peneiras, que fazem a separação em granulometrias distintas, conforme representado na FIG. 6. O agregado reciclado pode ser utilizado na fabricação de blocos de concreto para vedação, cascalhos para pavimentação de ruas, contrapiso, material para drenagem, contenção de encostas, bancos e mesas em praças, guias e tampas de parabueiros, tubos para esgoto, entre outros. Os produtos reciclados oferecem melhor custo-benefício em comparação com aqueles feitos com brita nova e apresentam características semelhantes em termos de medida, peso e durabilidade. A pavimentação utilizando bica corrida requer menos tecnologia, pois o material reciclado não possui classificação por granulometria, o que resulta em um processo mais econômico e permite o aproveitamento de todos os componentes minerais do entulho, como tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia e pedras, sem a necessidade de uma separação rigorosa. No caso do agregado para concreto não estrutural, também é possível utilizar todos os componentes minerais do entulho sem separação, o que resulta em economia de energia no processo de moagem em relação ao uso em argamassas, já que no concreto parte do material permanece em granulometrias mais grossas (MARQUES *et al.*, 2020).

Figura 6: (a) areia; (b) pedrisco; (c) brita e (d) rachão



Fonte: Marques *et al.* (2020)

2.3.2 Processo de fabricação de blocos com materiais reciclados

Diante dos impactos ambientais gerados pelo acúmulo de resíduos provenientes de atividades de construção e demolição, tornou-se fundamental desenvolver métodos que minimizem os efeitos negativos do descarte inadequado. Além disso, estudos vêm sendo conduzidos para promover o reaproveitamento desses materiais, que possuem grande potencial para aplicações diversas. Ao longo dos anos, várias soluções foram implementadas visando o aproveitamento de resíduos, especialmente em obras da construção civil, onde são utilizados na fabricação de materiais como tijolos, blocos de concreto e blocos cerâmicos (DIAS *et al.*, 2021).

Costa *et al.* (2023) realizaram um estudo sobre a fabricação de blocos de concreto reciclado, avaliando o impacto da substituição de agregados convencionais por resíduos de construção e demolição (RCD) na resistência à compressão. O processo de fabricação começou com a coleta de resíduos em pontos de descarte irregular, onde foram identificados como resíduos de classe A, compostos predominantemente por tijolos, areia e telhas, conforme a Resolução 307/2002 do CONAMA (FIG.7). Esses materiais passaram por um processo de separação, trituração e peneiramento, classificando-os em agregados miúdos e graúdos (FIG.8).

Figura 7: Coleta e separação dos agregados



Fonte: Costa *et al.* (2023).

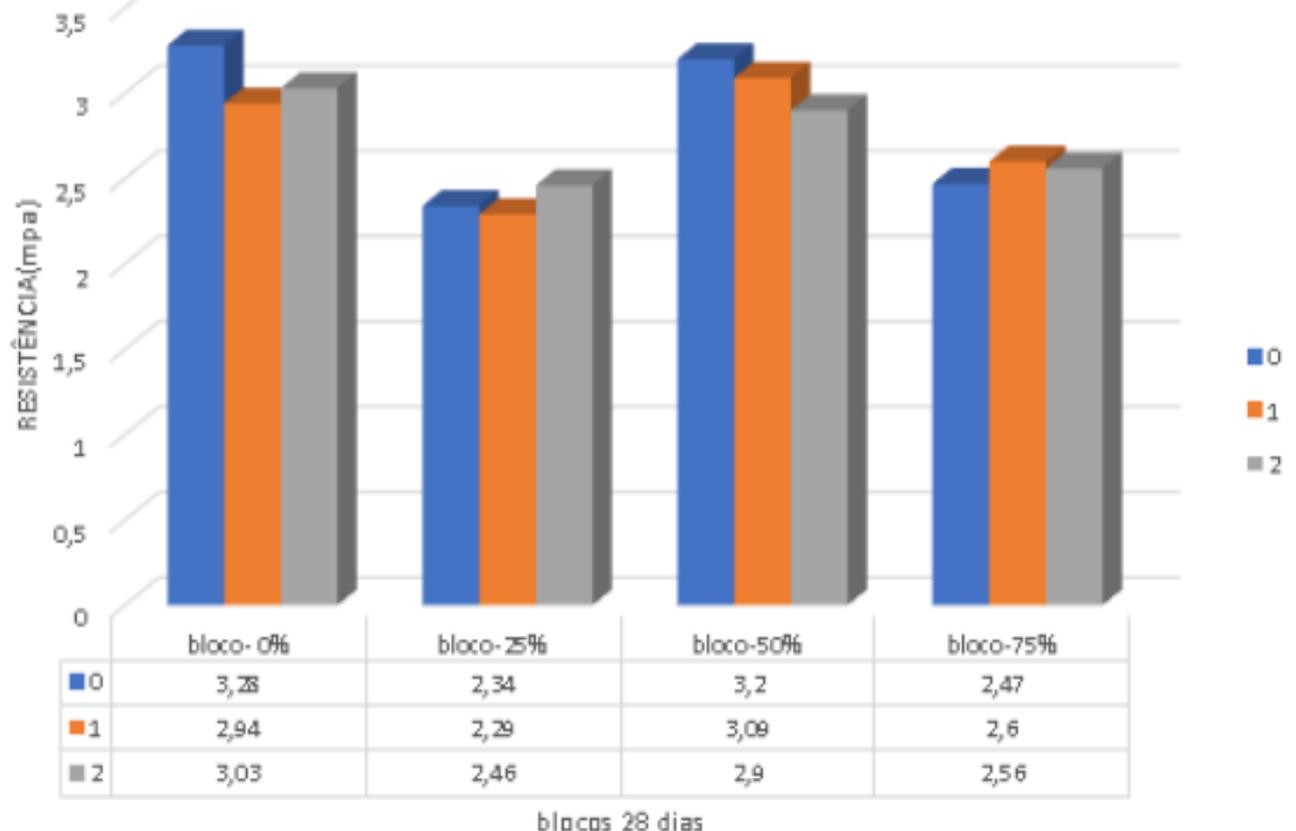
Figura 8: Ensaio de granulometria



Fonte: Costa *et al.* (2023).

A produção dos blocos foi realizada pela técnica de vibropressagem, utilizando traços com a proporção de 1:19,19 (1 kg de cimento para 19,19 kg de agregados) e substituindo os agregados naturais por RCD nas proporções de 25%, 50% e 75%. Após 28 dias de cura, os blocos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão (FIG. 9), e os resultados mostraram que os blocos com até 50% de substituição de RCD atenderam aos requisitos normativos, com resistência satisfatória. No entanto, a substituição de 75% dos agregados naturais por RCD resultou em uma redução da resistência, enquanto os blocos com 25% de substituição também não atingiram os valores exigidos pelas normas pertinentes. No final do estudo, Costa *et al.* (2023) concluíram que o bloco com 50% de substituição em massa do agregado miúdo natural por RCD atende à resistência mínima de 3 MPA especificada pela norma ABNT NBR 6136:2016, sendo aplicável para blocos sem função estrutural. Em contrapartida, os blocos com 25% e 75% de substituição apresentaram redução na resistência, ficando em desacordo com as normas. Considerando os aspectos relacionados à resistência à compressão, os resultados dos ensaios indicam a viabilidade técnica da produção de blocos de concreto utilizando RCD como agregado, desde que a substituição seja controlada, com uma proporção de até 50%.

Figura 9: Resultado dos ensaios de resistência a compressão com 28 dias



Fonte: Costa *et al.* (2023).

2.3.3 Aplicação da ferramenta BIM na gestão e planejamento de resíduos

O *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, é uma tecnologia cada vez mais popular e um dos avanços mais promissores para a indústria da construção civil. No BIM, cria-se um modelo digital detalhado de uma edificação, que, além de representar fielmente a geometria, integra um conjunto completo de informações relevantes para as etapas de construção, fabricação e aquisição necessárias para a execução da obra. A possibilidade de simular digitalmente a construção de uma edificação antes de sua execução física permite uma verificação eficaz da construtibilidade e facilita a resolução de incertezas na fase de projeto. Isso contribui para maior eficiência e otimização energética, além de permitir melhorias no design e na estratégia de execução. Com o BIM, é possível considerar todo o ciclo de vida da edificação, abrangendo desde a concepção do projeto, construção e operação, até a demolição e o reaproveitamento (SELARE; MARA, 2022).

Nesse cenário, também se destacam as Interfaces de Programação de Aplicações (APIs), que permitem a interoperabilidade entre diversas plataformas. A integração de APIs ao BIM abre possibilidades como a extração de quantitativos de qualquer modelo BIM para o tratamento desses dados em várias aplicações, incluindo a elaboração de composições de custo e estimativas de resíduos gerados. Dentro desse contexto, ressaltam o potencial da API denominada *WasteBIM*. A *WasteBIM* permite a quantificação automática de resíduos sólidos em edificações, além de contribuir com a documentação de novas obras, facilitando a emissão de relatórios exigidos por órgãos ambientais. Essa API coleta dados quantitativos de um modelo BIM desenvolvido no Autodesk Revit® e os exporta para uma planilha eletrônica onde o usuário pode planejar o cronograma da obra, adicionar dados do projeto e emitir relatórios. Na planilha, cálculos são realizados sobre os quantitativos extraídos para estimar o volume de resíduos gerados, categorizando-os conforme as normas de classificação e prevendo o número de caçambas necessárias para o descarte dos resíduos por etapa da obra (SANTOS *et al.*, 2020).

2.4 Impacto ambiental dos resíduos na construção civil

De acordo com Guimarães *et al.* (2020), um dos principais fatores que contribuem para o aumento da geração de resíduos sólidos originários da construção civil está ligado ao crescimento desordenado da população mundial e às altas densidades demográficas nas áreas urbanas, acompanhadas pelo desenvolvimento econômico global. A engenharia civil é responsável por um alto consumo de recursos naturais não renováveis e pela produção de grandes volumes de resíduos, conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCDs).

O descarte inadequado desses resíduos pode causar impactos ambientais, sociais e econômicos significativos, como a degradação das bacias hidrográficas e dos corpos d'água, além de danos à paisagem, entre outros.

A construção civil é um setor que utiliza uma significativa quantidade dos recursos naturais disponíveis, incluindo produtos da extração mineral. Em contrapartida, está associada a altos índices de impactos ambientais negativos, especialmente pela produção excessiva de Resíduos de Construção Civil (RCCs). Quando esses resíduos não são destinados de forma adequada, podem resultar em consequências permanentes para o meio ambiente. Portanto, é fundamental investigar a qualidade e a abrangência dos serviços de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos gerados nas obras civis (GOMES, 2021).

A indústria da construção civil sempre desempenhou um papel fundamental tanto social quanto econômico. Ela movimentava uma extensa cadeia produtiva, impulsionava o crescimento econômico e a criação de empregos de maneira rápida, sendo responsável por uma parte significativa do PIB, além de gerar um grande número de postos de trabalho e uma considerável renda para a população. No entanto, a indústria da construção civil também apresenta um impacto ambiental negativo, caracterizado pelo elevado consumo de insumos naturais esgotáveis, alta demanda de energia, grande geração de resíduos e emissões de CO₂ (MASUEIRO *et al.*, 2021).

Conforme Pereira *et al.* (2022), em diversas construções e reformas, os resíduos são frequentemente descartados nas calçadas e ruas, o que provoca consideráveis transtornos para pedestres e veículos que transitam pela área.

Camilo *et al.* (2022) ressalta que, na construção do ambiente urbano, a parte formal das atividades construtivas se destaca pelo elevado consumo de recursos naturais, resultando em uma significativa geração de resíduos. Embora não seja o setor que mais produz resíduos, ele está inserido em uma atividade econômica que causa considerável impacto. Nesse contexto, o conceito de Construção Sustentável não pode ser promovido apenas por meio da criação de edifícios icônicos; a produção na construção sustentável deve ser planejada para evitar a geração de resíduos, bem como para promover a reutilização, a reciclagem e a destinação adequada dos resíduos gerados.

2.5 Impacto econômico com a utilização do agregado reciclado

Um estudo feito por Levy (2007), com intuito de verificar a viabilidade econômica dos agregados reciclados, visto que a distância entre as jazidas naturais e os centros urbanos, são responsáveis pelo alto custo com transporte. Uma alternativa viável seria o uso de agregados reciclados para substituir, mesmo que parcialmente, os agregados naturais. Essa solução se destaca

principalmente pela possibilidade de reduzir os custos finais da obra, graças à reciclagem de resíduos. Na produção de 1m^3 de concreto, são utilizados, em média, 300 kg de cimento, $0,60\text{ m}^3$ de areia e $0,80\text{ m}^3$ de brita. Com o uso de agregados reciclados, é possível substituir cerca de 20% dos materiais naturais, como aponta Levy (2007). Além disso, ele ressalta que essa prática pode gerar uma economia significativa, tanto em volume quanto em custos, conforme ilustrado em FIG. 10 e FIG. 11, apresentando valores médios por unidade.

Figura 10: Custo da produção de concreto com agregados naturais

Material	Quantidade	Custo Unidade R\$	Custo total R\$
Cimento	300 kg	0,30	90,00
Areia	$0,60\text{ m}^3$	30,00	18,00
Brita	$0,80\text{ m}^3$	32,00	25,60
TOTAL			133,60/m³.

Fonte: : LEVY (2006).

Figura 10: Custo da produção de concreto com agregados RCC

Material	Quantidade	Custo Unidade R\$	Custo total R\$
Cimento	300 kg	0,30	90,00
Areia	$0,48\text{ m}^3$	30,00	14,40
Areia de RCD	$0,12\text{ m}^3$	15,00	1,80
Brita	$0,64\text{ m}^3$	32,00	20,48
Brita de RCD	$0,16\text{ m}^3$	16,00	2,56
TOTAL			129,24/m³.

Fonte: LEVY (2006).

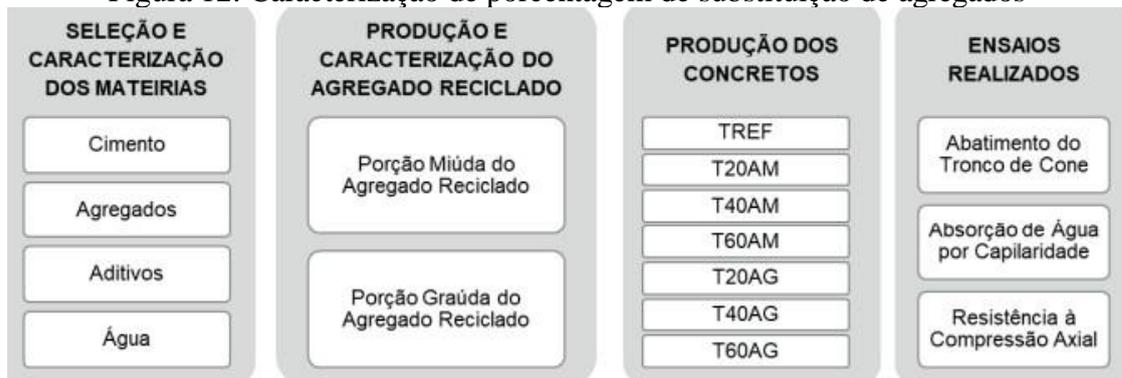
Conforme apresentado nos quadros anteriores, houve uma redução de $\text{R\$ } 4,36/\text{m}^3$ no custo final, gerando uma redução de 3,37% a cada metro cubico de concreto, oque se torna vantajoso em obras de grande porte. A principal vantagem do uso de RCC está na substituição parcial dos agregados naturais, o que não apenas diminui a dependência desses materiais, mas também contribui diretamente para a redução de impactos ambientais, promovendo melhorias na qualidade de vida LEVY, (2006).

2.6 Produção de concreto com a incorporação do agregado reciclado de resíduos de concreto

Um estudo realizado por Schunch e Polesello (2024) teve como objetivo avaliar se a substituição de agregados naturais por agregados reciclados, provenientes exclusivamente de resíduos de concreto, atende aos critérios de segurança estrutural definidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023). A pesquisa foi conduzida considerando teores de substituição do agregado

natural pelo reciclado que ultrapassam os limites estabelecidos pela NBR 15116 (ABNT, 2021), com o intuito de analisar o impacto real de níveis de substituição superiores aos recomendados pela norma. Foram definidas teores de substituição substituído de maneira individual dos agregados graudos e miudos, porem pode ser dosado fazendo a substituição de agregados graudos e miudos no mesmo traço. O planejamento experimental deste estudo foi estruturado em quatro etapas: (i) seleção e caracterização dos materiais, (ii) produção e caracterização do agregado reciclado, (iii) produção dos concretos e (iv) realização dos ensaios (FIG.12).

Figura 12: Caracterização de porcentagem de substituição de agregados



Fonte: Schuch; Polesello (2024).

Para a produção do concreto e a definição do traço, foi adotada uma relação água/cimento de 0,60, conforme estabelecido pela NBR 6118. O teor de argamassa foi definido em 54% e, com base na caracterização dos materiais utilizados e na relação água/cimento de 0,60 já estabelecida, obteve-se um traço unitário em massa de 1:2,47:2,95. As quantidades dos materiais utilizados para a produção de 30 litros de concreto estão detalhadas na FIG. 13. Esse traço classifica o concreto, de acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015), como C25 S100, o que indica uma resistência característica a compressão de 25,0 MPa aos 28 dias de cura, além de um abatimento que deve ficar entre 100 e 160 mm. Além do traço de referência (TREF), foram produzidos concretos com diferentes teores de substituição do agregado natural pelo reciclado, conforme a terminologia e especificações mostradas na FIG. 14. Foram considerados teores de 20%, 40% e 60% de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados, podendo ser substituídos de forma junta ou separada os agregados miudos e graudos. (SCHUCH; POLESELLO, 2024).

Figura 13: Quantitativos materiais para produção 30 litros de concreto

Cimento (g)	Agregado miúdo (g)	Agregado graúdo (g)	Aditivo (g)	Água (g)
9692	23939	28591	73	5815

Fonte: Schuch; Polesello (2024).

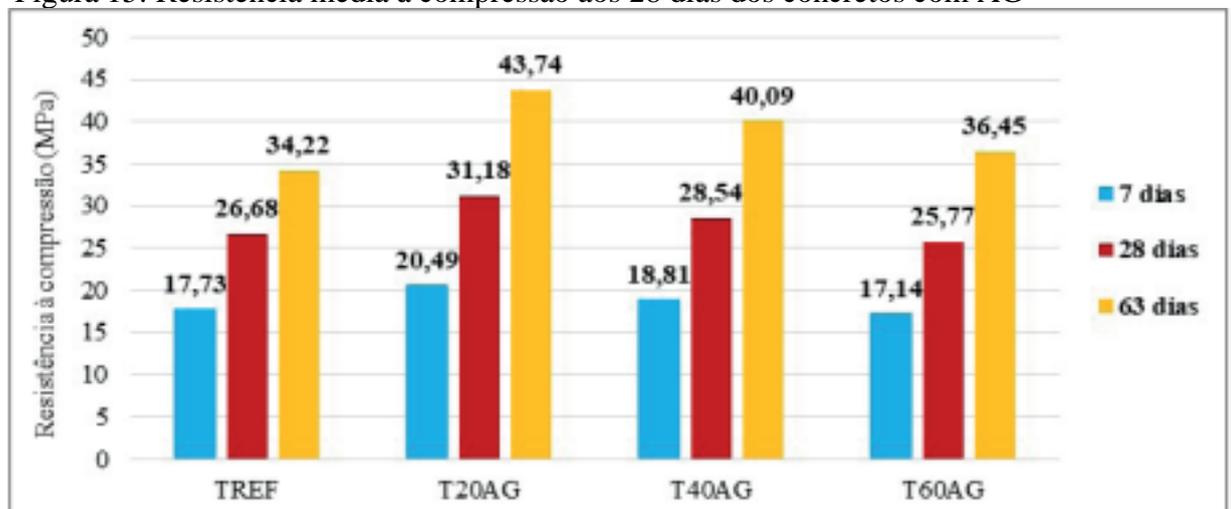
Figura 14: Terminologia e especificação dos concretos a serem produzidos.

Nomenclatura	Teor de substituição	Especificação
TREF	0%	Concreto de referência, utilizado como traço padrão.
T20AM	20%	20% de substituição da massa de agregados miúdos.
T20AG	20%	20% de substituição da massa de agregados graúdos.
T40AM	40%	40% de substituição da massa de agregados miúdos.
T40AG	40%	40% de substituição da massa de agregados graúdos.
T60AM	60%	60% de substituição da massa de agregados miúdos.
T60AG	60%	60% de substituição da massa de agregados graúdos.

Fonte: Schuch; Polesello (2024).

No final do estudo, Schuch, Polesello, (2024), chegaram as seguintes conclusões: quanto maior a adição de RCD, maior foi a diminuição do abatimento de tronco de cone realizado para cada traço, na classe de abatimento S100, conforme as diretrizes da NBR 16889 (ABNT, 2020), os traços que incluíam agregado reciclado resultaram em uma diminuição do abatimento em comparação ao concreto de referência, o que exigiu o uso do aditivo RA2 (superplastificante) para compensar essa alteração, alcançando assim a trabalhabilidade desejada, mantendo a relação água/cimento. A absorção de água aumentou na medida que a quantidade de material utilizado aumentou também, resultando em um composto mais poroso. No que diz respeito à resistência à compressão, que é o aspecto mais relevante nesta análise, destaca-se que após substituição dos agregados miúdos (AM) e graúdos (AG), o concreto atingiu valor de resistência superior a 20 MPa. Se tratando dos demais traços foi apresentado resultados obtidos para resistência à compressão nos traços com substituição de agregado graúdo (AG), conforme demonstrado na FIG15, em que os traços T20AG e T40AG apresentaram um aumento de resistência em relação ao traço de referência, independentemente da idade de análise considerada.

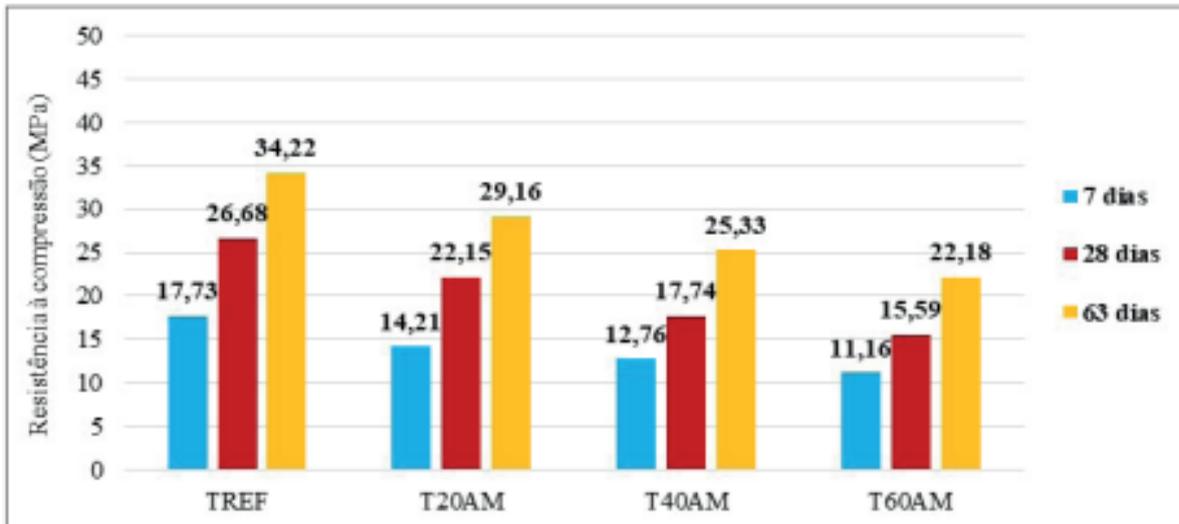
Figura 15: Resistência média à compressão aos 28 dias dos concretos com AG



Fonte: Schuch; Polesello (2024).

Enquanto no resultado do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias, a média obtida foi igual a 17,74 MPa para o traço com agregado reciclado e para TREF o resultado encontrado foi igual a 26,68 MPa, resultando em uma diminuição de 33,51%, conforme apresnetado na FIG 16. (SCHUCH; POLESELLO, 2024).

Figura 16: Resistência média à compressão aos 28 dias dos concretos com AG



Fonte: Schuch; Polesello (2024).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos desafios ambientais e da crescente necessidade de adotar práticas sustentáveis na construção civil, este estudo evidenciou como o uso de materiais reciclados pode ser uma solução eficaz para lidar com os resíduos Classe A. Durante a pesquisa, ficou claro que reaproveitar esses materiais, seja em forma de blocos ou produção de concreto com agregados reciclados, não apenas ajuda a reduzir os impactos ambientais, mas também contribui para a preservação de recursos naturais.

A substituição parcial dos agregados naturais por materiais reciclados reduz os custos de 3,37% em cada metro cúbico de concreto produção de concreto. Além disso, essa prática contribui para a sustentabilidade do setor, ao diminuir a extração de recursos naturais e reduzir a quantidade de resíduos descartados. Dessa forma, a utilização de agregados reciclados se destaca como uma solução eficiente, principalmente se tratando de obras de grande porte.

Nos traços para produção de concreto com materiais reciclados, foi constatado impacto negativo na trabalhabilidade do concreto, resultando em uma diminuição na trabalhabilidade, quanto maior a quantidade de agregados reciclados (AR) e mais absorventes esses resíduos, menor a trabalhabilidade dos concretos produzidos o que exigiu o uso do aditivo plastificante

para compensar essa alteração, alcançando assim a trabalhabilidade desejada. Em relação a absorção de água, foi constatado na substituição de agregado graúdo e miúdo, um comportamento semelhante, com um aumento da absorção de água à medida que o teor de agregados reciclados é elevado.

Na produção de concreto, se tratando da resistência a compressão axial, destaca-se seu uso viável, mas exigindo cautela, conhecendo a composição do material e, principalmente, atenção à relação água/cimento aplicada. Além disso, deve-se respeitar o limite de 20% de substituição de agregados estabelecido pela norma, no qual o valor de resistência de 20 MPa foi alcançado e superado. Portanto, recomenda-se uma caracterização detalhada e testes rigorosos do material, sendo possível sua aplicação em concretos com e sem função estrutural, com os critérios estabelecidos pela NBR 15116 (ABNT, 2021).

Os testes de resistência à compressão mostraram que os blocos com 50% de substituição de resíduos de construção e demolição (RCD) tiveram um desempenho superior. Aos 28 dias, os blocos produzidos com diferentes proporções apresentaram resistência característica igual ou maior que 3,0 MPa, atendendo aos requisitos mínimos definidos pela NBR 6136 (ABNT, 2016). A uniformidade no processo de fabricação e o controle rigoroso das proporções garantiram blocos consistentes e em conformidade com as normas, demonstrando a viabilidade de produzir blocos de concreto sustentáveis. Essa abordagem contribui para a economia de recursos e incentiva o reaproveitamento de resíduos na construção civil, reforçando a importância de práticas mais sustentáveis no setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2002

Brasil LEI 12305 https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>

CAMILO, Beatriz Queiroga et al. **Solid waste in construction: management analysis of impacts impacted on the environment**. 2022.

CÍCERO DE LIMA, E.; Polesello, Eduardo. **Produção de concreto com a incorporação do agregado reciclado de resíduos de concreto**. in: Materiais de Engenharia: Fundamentos e Novas Tendências-Volume 1. Editora Científica Digital, 2024. p. 108-127.

COSTA, Fabio Barros et al. **Utilização dos resíduos da construção civil na fabricação de blocos de concreto de vedação**. 2023.

FERIS, Gabriel de Faria; PELÁ, Thiago Fachin; PFEIFFER, Simone Costa. **reciclagem de resíduos da construção civil na região metropolitana de goiânia**. 2023.

DIAS, Luana Inêz Ribeiro; RAMOS, Elizabeth das Chagas; Florencio, Odila. **Aproveitamento de resíduos da construção e demolição (RCD) na fabricação de blocos de concreto sem e com adição de óxido de grafeno**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 5972-5989, 2021.

GOMES, Carla Pinheiro et al. **Impacto Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Advindos da Construção Civil no Brasil: Uma Revisão de Literatura/Environmental Impact and Solid Waste Management Arising from Civil Construction in Brazil: A Literature Review**. ID on line. Revista de psicologia, v. 15, n. 55, p. 729-742, 2021.

GUIMARÃES, Mag Geisielly Alves et al. **Incorporação de resíduos de construção e demolição e pó-de-pedra em dosagens experimentais de argamassa para mitigação de impactos ambientais**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 5, p. 25337-25349, 2020.

LEAL, Ailton Pires. **Resíduos da construção civil: uma revisão sobre as possibilidades de aplicação**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 7, n. 6, p. 459-483, 2021.

LEVY, S. M. Produzindo concretos ecologicamente e politicamente corretos. Exacta, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 375 –384, jul./dez. 2006.

LIMA, José Lucas Barroso; PINHEIRO, Erika Cristina Nogueira Marques; DE OLIVEIRA, Raquel Paiva. **Resíduos de construção civil reaproveitados em obras de pavimentação de vias: Civil construction waste reused in road paving works**. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 10, p. 69220-69242, 2022.

LOPES, Anderson Bueno; Pertel, Monica. **Alternativas para Redução do Impacto Ambiental Causado pelos Resíduos da Construção Civil**. Boletim do Gerenciamento, v. 22, n. 22, p. 20-31, 2021.

LOPES, Diogo Plachi et al. **Reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 1, p. 926-940, 2023.

LUZ, Fernanda Catarina Ribeiro da. **Uso do sistema BIM na quantificação dos resíduos gerados na construção civil: utilização do Revit e Dynamo aliados a linguagens de programação Python**. 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

MARQUES, Henrique Fernandes et al. **Reaproveitamento de resíduos da construção civil: a prática de uma usina de reciclagem no estado do Paraná**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 4, p. 21912-21930, 2020.

MASUERO, Angela Borges. **Desafio da Construção Civil: crescimento com sustentabilidade ambiental**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, n. 04, p. e13123, 2021.

PEREIRA, Roberto Alves; DE OLIVEIRA, Luciana Rezende Alves. **Educação ambiental: sustentabilidade, conscientização e melhorias no gerenciamento de resíduos sólidos**. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 3, p. 21961-21974, 2022.

RESENDE, Heron Freitas et al. **Uso de resíduos de construção e demolição como agregado reciclado no concreto: uma breve revisão de literatura**. Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, 2022.

SANTOS, Maria Luiza Angelo Silveira et al. **Avaliação de facilidade de uso e eficiência de API para quantificação de resíduos a partir de modelo BIM**. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 19, p. 1-17, 2022

SCHEIFER, Danielle Melo; CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio. **Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, n. 04, p. e13087, 2021.

SCHUCH, Cls; Polesello, Et al. **Produção de concreto com a incorporação do agregado reciclado de resíduos de concreto**. In: MATERIAIS DE ENGENHARIA: FUNDAMENTOS E NOVAS TENDÊNCIAS-VOLUME 1. Editora Científica Digital, 2024. p. 108-127.

SELARE, Juliana Mara. **Modelagem BIM para estimativa da geração de resíduos da construção civil: estudo de caso**. 2022.

SILVA, Geisyelle Do Nascimento et al. **Avaliação granulométrica de agregados reciclados para uso na produção de blocos de concreto**. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 20, n. 1, p. 1-15, 2024.