

Concreto reciclado: a importância de inserção de práticas sustentáveis para reduzir os impactos ambientais e econômicos da construção civil

Recycled concrete: the importance of inserting sustainable practices to reduce the environmental and economic impacts of civil construction

Hormigón reciclado: la importancia de insertar prácticas sostenibles para reducir los impactos ambientales y económicos de la construcción civil

Recebido: 10/12/2022 | Revisado: 21/12/2022 | Aceitado: 22/12/2022 | Publicado: 26/12/2022

Jamilly Alfano Da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2032-1413>
Centro Universitário Estácio de Sergipe, Brasil
E-mail: jamilly.alfano48@gmail.com

Vinicius Daniel de Oliveira Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8678-0954>
Centro Universitário Estácio de Sergipe, Brasil
E-mail: viniciusmetal@hotmail.com

Danilo Fernandes Viana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9440-6594>
Centro Universitário Estácio de Sergipe, Brasil
E-mail: danilo.fernandes@estacio.br

Raiane Sodré de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9065-2210>
Centro Universitário Estácio de Sergipe, Brasil
E-mail: raianefisica@gmail.com

Resumo

A construção civil é um dos campos que mais produz empreendimentos em grande escala, sendo também um dos maiores causadores de impactos ambientais, devido ao enorme consumo de recursos naturais na produção de matéria-prima para os canteiros de obras e, também, o que mais desperdiça e acumula resíduos sólidos, causando prejuízos econômicos, sociais e ambientais para sociedade, como a mudança do solo e vegetação, aumento de gastos com energia, alta demanda de água e emissão de gases poluentes que contribuem para o crescimento do efeito estufa. Neste cenário, com o intuito de minimizar os impactos causados ao meio ambiente, muitos estudos estão sendo direcionados para a reciclagem do Resíduo da Construção e Demolição (RCD). A utilização do RCD é relevante para a construção civil, pois possui vários resultados positivos, que engloba não só o custo-benefício como também a capacidade mecânica desses elementos com percentuais elevados de reaproveitamento, que reforça ainda mais a importância do desenvolvimento de meios sustentáveis. O presente estudo tem como objetivo analisar o uso de concreto sustentável nas construções de forma geral, destacando as principais vantagens e desvantagens da aplicação dessa tecnologia na construção civil. A metodologia adotada foi baseada em revisão da literatura, visando obter mais informações sobre o tema de estudo entre o período de 2011 a 2022. A partir dos resultados obtidos na literatura, tornou-se possível evidenciar que a utilização do concreto reciclado é uma alternativa sustentável muito importante na construção civil, entretanto, ainda existem poucos incentivos e o controle da qualidade desse material. Assim, fica evidente a necessidade de mais estudos sobre o tema, a fim de disseminar o uso do concreto reciclado nas edificações.

Palavras-chave: Concreto reciclado; Sustentabilidade; Resíduo da construção e demolição.

Abstract

Civil construction is one of the fields that produce the most large-scale undertakings, and is also one of the greatest causes of environmental impacts, due to the enormous consumption of natural resources in the production of raw materials for construction works and, also, what else discards and accumulates solid waste, causing economic, social and environmental damage to society, such as change of soil and vegetation, increased energy costs, high demand for water and emission of polluting gases that contribute to the growth of the greenhouse effect. In this scenario, to minimize the impacts caused to the environment, many studies are being directed to the recycling of Construction and Demolition Waste (CDW). The use of CDW is relevant for civil construction since it has several positive results, including not only the profitability but also the mechanical capacity of these elements with high percentages of reuse, which further reinforces the importance of developing sustainable means. This study aims to analyze the use of sustainable concrete

in construction in general, highlighting the main advantages and disadvantages of applying this technology in civil construction. The adopted methodology was based on a review of the literature, with the aim of obtaining more information about the study between the period from 2011 to 2022. Based on the results obtained in the literature, it was possible to demonstrate that the use of concrete recycling is a sustainable method, and a very important alternative in civil construction, however, there are still few incentives and quality control of this material. Thus, the need for further studies on the subject is evident, to disseminate the use of recycled concrete in buildings.

Keywords: Recycled concrete; Sustainability; Construction and demolition waste.

Resumen

La construcción civil es uno de los campos que más produce emprendimientos de gran envergadura, y también es una de las mayores causantes de impactos ambientales, debido al enorme consumo de recursos naturales en la producción de materias primas para las obras de construcción y, también, qué más desecha y acumula residuos sólidos, provocando daños económicos, sociales y ambientales a la sociedad, tales como cambio de suelo y vegetación, aumento de costos energéticos, alta demanda de agua y emisión de gases contaminantes que contribuyen al crecimiento del efecto invernadero. En este escenario, con el fin de minimizar los impactos causados al medio ambiente, muchos estudios están siendo dirigidos al reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). El uso de RCD es relevante para la construcción civil, ya que tiene varios resultados positivos, que incluyen no solo la rentabilidad sino también la capacidad mecánica de estos elementos con altos porcentajes de reutilización, lo que refuerza aún más la importancia de desarrollar medios sostenibles. Este estudio tiene como objetivo analizar el uso del hormigón sostenible en la edificación en general, destacando las principales ventajas y desventajas de aplicar esta tecnología en la construcción civil. La metodología adoptada se basó en una revisión de la literatura, con el objetivo de obtener más información sobre el tema de estudio entre el período de 2011 a 2022. A partir de los resultados obtenidos en la literatura, fue posible demostrar que el uso de hormigón reciclado es un método sostenible. alternativa muy importante en la construcción civil, sin embargo, aún existen pocos incentivos y control de calidad de este material. Así, se evidencia la necesidad de mayores estudios sobre el tema, con el fin de difundir el uso del hormigón reciclado en las edificaciones.

Palabras clave: Hormigón reciclado; Sustentabilidad; Residuos de construcción y demolición.

1. Introdução

O concreto é um dos materiais mais utilizados no ramo da construção civil, sendo comumente preparado a partir da mistura entre cimento, agregados (grãos e miúdos), água e aditivos (Recena, 2002). De acordo com estudos reportados por (Santos & Cabral, 2020), as atividades presentes na construção civil consomem cerca de 40% dos recursos naturais não renováveis. Desse modo, devido a sua grande utilização e pela alta exploração de elementos naturais, fez-se necessário optar por métodos mais sustentáveis, visto o alto custo e a grande liberação de resíduos sólidos provenientes das construções e demolições (RCD) (Roque & Pierri, 2019).

Com a crescente busca por uma sociedade mais sustentável frente à crise ambiental, é de extrema importância que o mercado da construção civil inclua em seus projetos práticas sustentáveis, que certamente beneficiará a sociedade presente e futura (Da Silva Barbosa et al., 2018). Diante dessas problemáticas, revelou-se um caminho que está se tornando cada vez mais promissor para redução desses efeitos, o qual é a aplicação do concreto reciclado nas construções (Ângulo et al., 2001). A reciclagem do RCD, além de reduzir o uso de recursos naturais, promove também a redução da poluição ao meio-ambiente. Esta consiste no recolhimento do concreto usado e na segregação da argamassa da rocha, formando assim o agregado de concreto reciclado (ACR), o agregado grão proveniente dessa segregação (Verian et al., 2018).

Inúmeros estudos têm sido direcionados para essa aplicação em elementos estruturais visando compensar a função do agregado natural (AN) (Verian et al., 2018). Todavia, há uma assimetria entre os agregados naturais e reciclados na utilização e na confiabilidade destes; o uso do ACR para a produção de concreto reciclado pode causar alguns problemas mecânicos e desconfianças quanto à durabilidade devido à má qualidade do material (Shi et al., 2016).

Neste artigo foi realizado uma breve revisão de literatura entre os anos de 2011 e 2022, visando obter informações sobre o uso de práticas sustentáveis na construção civil, particularmente, a utilização do concreto reciclado nas edificações, gerenciamento ambiental dos RCD e os métodos e estratégias para a minimização de produção desses resíduos sólidos e seus impactos. Com base nas pesquisas científicas, será feita uma análise do concreto reciclado quanto às suas características,

aplicabilidade, viabilidade técnica, econômica e ambiental, bem como a aplicação do concreto reciclado para verificar as vantagens e desvantagens quanto ao uso e processo de transformação dos agregados.

2. Sustentabilidade na Construção Civil

A finalidade da sustentabilidade na construção civil é assegurar que antes, durante e após a execução das obras realizem atividades que reduzam os impactos ambientais, reforce a viabilidade econômica e garantir melhor qualidade de vida para a sociedade (Ângulo et al., 2001). Nesse sentido, no meio empresarial predomina a imagem do ambientalmente correta, visto que podem também conseguir vantagens significativas competitivamente por meio de suas decisões estratégicas (Batista, 2022). Essa nova forma de conscientização por parte das empresas se fez frequente pela influência do governo, da sociedade e do mercado, que está cada vez mais competitivo. Outrossim, foram desenvolvidas ferramentas e estratégias para um modelo de desenvolvimento capazes de controlar as emissões de resíduos e impactos ambientais (Lima et al., 2021).

Consoante ao Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) de 2014, os consumidores estão buscando cada vez mais edificações com princípios de sustentabilidade, direcionados à durabilidade do material aplicado, à verificação do desempenho da edificação, ao uso racional da energia, aos sistemas de captação de águas pluviais (provenientes das chuvas) e para outros aspectos que influenciam na causa sustentável (de Melo Silva et al., 2020).

As novas edificações apresentam suas projeções e estruturas voltadas para os aspectos da sustentabilidade, apresentando normas técnicas e certificações internacionais, como *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), o Processo de Alta Qualidade Ambiental (AQUA) e Selo Casa Azul, os mais utilizados no Brasil (de Conto et al., 2017; Roque & Pierri, 2019). Entretanto, os principais empecilhos da disseminação da sustentabilidade na construção civil são a falta de projeto e planejamento de obras adequados, o não cumprimento das normas técnicas, falta de engajamento das partes envolvidas, falta de aplicações mais eficientes e escolha de técnicas inadequadas (Lima et al., 2021).

O concreto reciclado, quando introduzido nesse contexto de sustentabilidade, pode ser a solução para o uso exacerbado de recursos naturais, visto que os agregados compõem a maior parte do concreto, compreendida entre 60% e 75% do volume total. Essa substituição obedecendo às normas técnicas pode assim se tornar uma proposta viável para a construção civil (Shi et al., 2016).

2.1 Aspectos gerais do concreto reciclado

Com a Revolução Neolítica e o crescimento da urbanização, intensificou-se o desenvolvimento de novas tecnologias, especialmente no campo da construção civil. Por conseguinte, o aprimoramento das técnicas construtivas trouxe o concreto para solucionar problemas mecânicos e inovar o cenário desse setor. O cimento Portland, no que lhe concerne, chegou em 1824 com uma proposta de resistência semelhante às rochas presentes na ilha Portland, no condado de Dorset (Leite, 2016).

Os recursos naturais em questão são limitados e esgotáveis, assim, há uma enorme necessidade de estudos que comprovem uma alternativa sustentável e eficiente para reduzir os impactos ambientais (Brasileiro & Matos, 2015). O agregado de concreto reciclado (ACR) surge com essa proposta para a diminuição do uso de recursos naturais, tendo em vista que estes podem apresentar um bom desempenho quando inseridos obedecendo às especificações técnicas (Patto, 2006).

A utilização do ACR foi relatada pela primeira vez logo após a Segunda Guerra Mundial na reconstrução das cidades na Europa, quando houve muitas demolições de edificações e estradas. A partir de 1970, os Estados Unidos retomaram esse conceito em usos não estruturais, como fundações e preenchimento (Molina, 2019).

Alguns países como Holanda, Bélgica e Dinamarca possuem poucas jazidas de agregados naturais e importam areia e entulho da Sibéria e Inglaterra, cujos materiais são reaproveitados em até 90% para a produção do concreto. Neste sentido, o

RCD é todo material gerado a partir de obras de reforma, construção e demolição, sendo composto por uma parte mineral, representada pela maior parte de resíduos de Classe A, e a menor parte das outras classificações (Leite, 2016).

De acordo com (Santana et al., 2011), no Brasil os órgãos responsáveis têm se voltado para a reciclagem de RCD com o intuito de reduzir a geração de entulhos. Nos estados como São Paulo e Rio de Janeiro são utilizados esses agregados principalmente em forma de blocos de fundação e concreto, lajes e muros.

Há idealizações de usinas de reciclagem de entulho responsáveis pela remoção, reciclagem e destinação final desses resíduos na construção civil. Fazem nesse processo a segregação dos materiais de classe A, conforme a resolução n.º 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - (CONAMA, 2002), por meio da trituração e encaminhado a um equipamento de separação destes agregados, selecionando areia, pedras, pedriscos e rachão. Esse produto serve de matéria-prima para a execução de contrapiso, argamassa, sub-base para asfalto, tijolos ecológicos e guias.

No processo de esmagamento dos agregados, uma quantidade de argamassa e pasta de cimento continuam anexadas na superfície do agregado reciclado, sendo esse o principal motivo da menor qualidade do ACR em relação ao agregado obtido nas fontes de extração (McNeil & Kang, 2013).

A aderência da argamassa nas partículas aumenta a absorção de água nas partículas. Além disso, a densidade aparente desse concreto é reduzida no estado fresco, devido à baixa massa específica dos agregados e da quantidade de vazios (Malešev et al., 2010).

Para os ensaios de tração, esse material se mostra eficaz comparado ao comum e pode até superá-lo em alguns casos, devido a sua qualidade de aderência entre a pasta e o agregado (Santana et al., 2011).

É recomendada a utilização máxima de 50% dos reciclados e o complemento com os agregados convencionais para manter as propriedades mecânicas intactas (Leite, 2016). Para manter a consistência do concreto referência e não necessitar do aumento da quantidade de água, é permitida a substituição de até 25% do AN pelo reciclado (Ortigara & Fontanini, 2019).

A sua trabalhabilidade no estado fresco tem bastante influência quando estiver enrijecendo. Nesse contexto, o ACR tem aparência ressecada devido a sua alta absorção de água, dificultando no seu lançamento. Para melhorar a trabalhabilidade, faz-se o aumento da quantidade de água para saturar o agregado ou o acréscimo de aditivo redutor de água na sua composição (Souza et al., 2020).

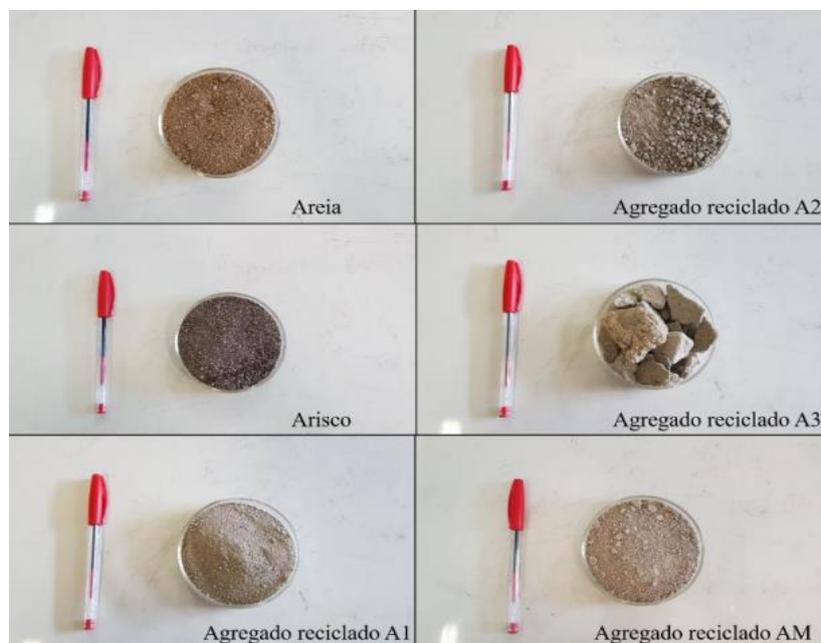
2.2 Tipos de concreto reciclado

O concreto reciclado é um método sustentável que aproveita materiais que seriam descartados em ambientes inadequados, em decorrência a considerável escassez de recursos e espaços para destinação. Quando são utilizados, reduzem diversos tipos de impactos ambientais além da sua alta qualidade, semelhança e até mesmo em alguns casos uma resistência superior. A reciclagem do concreto soluciona a falta de agregados pétreos e a proteção de suas jazidas, também resolve se os agregados não cumprem com as normas vigentes, como o caso de espuma vulcânica ou pumicitas. A utilização de agregados de concreto reciclado também permite a cura interna das novas misturas de concreto, quando adicionados saturados. O agregado pétreo obtido como resultado da demolição do concreto pode não apresentar as condições ideais, mas também existe a realidade de que muitos agregados pétreos minerais naturais existentes na região não atendem a todas as recomendações existentes nas normas de construção vigentes, e os construtores, engenheiros e arquitetos buscam maneiras de se extrair o maior proveito possível, alcançando um desempenho mecânico significativo (Molina, 2019).

Em contrapartida, a proporção desses materiais em diferentes amostras é de grande variabilidade e heterogeneidade. Esse é um dos motivos pelos quais a utilização de agregados reciclados ainda é tão ínfima, a natureza variável deste material dificulta o seu aproveitamento pela indústria. (Pereira et al., 2012). Para os resíduos minerais de classe A, os materiais gerados após a reciclagem são o pó de concreto, pedrisco, britas 1, 2, 3 e 4, e bica corrida (JUNIOR; ROMANEL, 2013). Na Figura 1, é

possível visualizar amostras de agregados reciclados utilizadas para o estudo de caso de um dos artigos analisados (Santos & Cabral, 2020).

Figura 1 - Tipos de agregados reciclados.



Fonte: Santos & Cabral (2020).

2.3 Resíduos sólidos na construção civil

A indústria da construção civil é responsável por elevado uso de recursos naturais e geração de resíduos que acarretam grandes impactos ambientais (Farias Júnior et al., 2018). O gerenciamento dos resíduos sólidos de construção civil (RSCC), se faz necessário em todas as etapas da obra, uma vez que, devido as suas características, resíduos são gerados em todas as suas etapas, sejam eles das mais diversas classificações (Klein & Dias, 2017). As obras geram um grande impacto ambiental com os descartes de resíduos sólidos; segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2012), o Brasil ficou responsável por aproximadamente 40 milhões de metros cúbicos de RCD em 2012. No entanto, em 2021 obteve uma média de 47 milhões de metros cúbicos de RCD, como é mostrada na Figura 2, apresentando esse aumento sem retratar os descartes que acontecem irregularmente e não são registrados (ABRELPE, 2021). Todavia, é importante enfatiza que grande parte desses resíduos poderiam ser reutilizados em diferentes etapas das obras.

Figura 2 - Relação de quantidade de RCD gerada por habitante em 2021.



Fonte: ABRELPE (2021).

Segundo o panorama de resíduos da ABRELPE no ano de 2021, aproximadamente 40% dos entulhos foram depositados de forma irregular no ano de 2021 e causaram problemas como enchentes, assoreamento dos rios e córregos (dos Santos Filho, 2022). A instalação de uma usina de reciclagem de RCD (URCD), no entanto, é um investimento bastante elevado e se faz necessário um planejamento econômico-financeiro para verificar a viabilidade da execução desse projeto (Gularte et al., 2020). No Quadro 1, apresentamos as classes dos resíduos com as suas respectivas classificações e finalidades de uso segundo a resolução n.º 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 2002 (CONAMA, 2002).

Quadro 1 - Classificações e finalidades dos resíduos sólidos.

Classes dos resíduos	Classificações e finalidades
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados provenientes de componentes cerâmicos (telha, bloco, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto.
B	Resíduos recicláveis para outros usos, como plástico, vidro, madeira e dentre outras destinações.
C	Resíduos que não foram desenvolvidas tecnologias que possibilitem a recuperação ou reciclagem de forma economicamente viável como, por exemplo, os produtos oriundos do gesso.
D	Resíduos vistos como perigosos devido a sua origem, como tintas, solventes, óleos e até mesmo resíduos contaminados de clínicas radiológicas e instalações industriais, por exemplo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

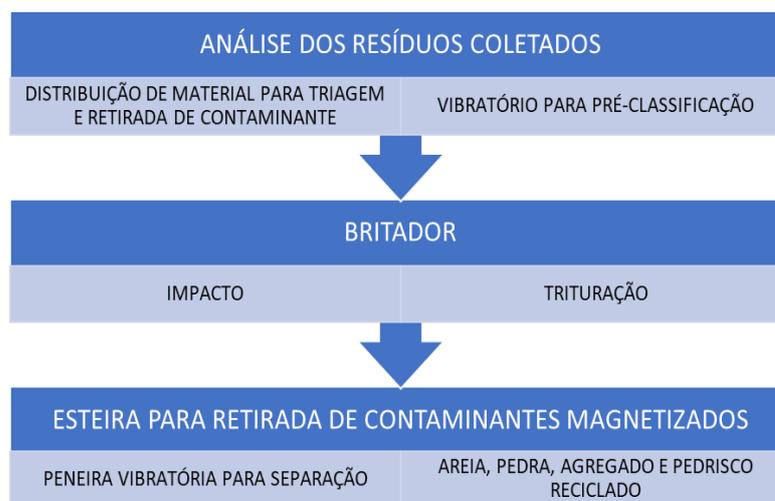
2.4 Reciclagem de resíduos sólidos na construção e demolição (RCD)

No canteiro de obras, entulhos e materiais sem utilidades são descartados de forma irregular, e implementar uma rede de preparo desses resíduos é de extrema importância. Dessa forma, materiais como a madeira têm grande capacidade de reuso, produzindo biomassa a partir da queima e na confecção de painéis nas obras, por exemplo (Souza et al., 2020).

Um material também muito comum que traz inúmeras possibilidades é o aço. Depois do processo de reciclagem o consumo de eletricidade é abaixo do normal se comparado com a produção de uma peça pura, além de não sofrer danos em suas propriedades. Em seguida, o gesso está entre as opções de reciclagem com alto grau de periculosidade para o manuseio de pessoas sem conhecimento técnico, visto que sua toxicidade é elevada (Tavares, 2021).

Por fim, o concreto possui grande relevância por estar presente em quase todos os métodos construtivos. A seguir, pode-se observar um fluxograma do processo de reciclagem RCD (Figura 3), que se inicia com a distribuição de um material para a triagem com o intuito de retirar substâncias contaminantes, depois é colocado para vibração e realizar uma pré-classificação; após isso, vem o impacto, a trituração e o peneiramento desses materiais, identificados e separados definitivamente para destiná-los às finalidades adequadas (Souza et al., 2020).

Figura 3 - Fluxograma do processo de reciclagem do RCD.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.5 Normas técnicas e política nacional de resíduos sólidos

Com todos os danos ambientais e sociais provocados pelo descarte, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) vem para intervir nesse meio. Atualmente, o Brasil possui a lei 12.305 sancionada em 2 de agosto de 2010 que dispõe do gerenciamento dos resíduos e penalidades para o não cumprimento (Maiello et al., 2018).

Conforme o Art. 1º da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, devem cumprir as determinações desta lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas (Brasil, 2010).

Alguns dos problemas que a aplicação dessa lei enfrenta são a baixa disponibilidade orçamentária e a fraca capacidade institucional e de gerenciamento das cidades do Brasil (Heber; Silva, 2014). Para combater esses desafios, ela estabelece diretrizes de gestão compartilhada e consórcios nas cidades para o devido gerenciamento, além de definir metas para erradicação dos lixões e impulsionar soluções adequadas para as disposições (Maiello et al., 2018).

Os planos estaduais de resíduos sólidos são elaborados, consoante a lei n.º 12.305, tendo o acesso aos recursos da União, ou por ela controlados. Segundo o decreto n.º 30.524, de 17 de fevereiro de 2017, ratifica as homologações sobre o Plano Estadual de Resíduos Sólidos em Sergipe e dá providências correlatas. Consoante o Art. 2º deste mesmo decreto, fica a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) responsável por aplicar as disposições e normas determinadas no âmbito da gestão compartilhada dos municípios, implementação da PNRS e legislações correspondentes (Brasil, 2017). Assim, a PNRS está acompanhada de normas técnicas que tratam a respeito dos resíduos sólidos pela sua classificação e sua origem (Maiello et al., 2018). Na Figura 4, ilustramos algumas das normas que se aplicam quanto a sua origem dos resíduos.

Figura 4 - Normas brasileiras relacionadas ao RCD quanto à origem

NBR 10.004	• Resíduos sólidos (classificação).
NBR 15.112	• RCC e resíduos volumosos áreas de transbordo e triagem (diretrizes para projetos, implantação e operação).
NBR 15.113	• RCC e resíduos inertes-aterros (diretrizes para projetos, implantação e operação).
NBR 15.114	• RCC-áreas para reciclagem (diretrizes para projetos, implantação e operação).
NBR 15.115	• Agregados reciclados de RCC-execução de camada de pavimentação (procedimentos).
NBR 15.116	• Agregados reciclados de RCC-utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural (requisitos).

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.6 Concreto reciclado: aplicações, vantagens e desvantagens

Após todas as etapas necessárias para a produção do concreto reciclado, este finalmente pode ser utilizado para diferentes funcionalidades no canteiro de obras, apresentando suas vantagens e desvantagens, sendo possível visualizar algumas destas na Tabela 1.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do uso do concreto reciclado.

	Vantagens	Desvantagens
Concreto reciclado	Custo-benefício	Custo alto na implantação de usinas de reciclagem
	Agregados mais leves	Fácil absorção da água, podendo prejudicar sua aplicabilidade
	Sustentabilidade	Teor de contaminantes
	Diferentes aplicações	Forma dos grãos do agregado
	Acessibilidade	Heterogeneidade

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Segundo Souza et. al. (2020), os principais pontos positivos da utilização deste material são o custo-benefício, menor densidade do agregado graúdo comparado ao agregado miúdo (natural) e, conseqüentemente, o lucro que é bem expressivo; em seguida, a sustentabilidade paralelamente é um ponto positivo, visto que a reciclagem provoca a redução de resíduos gerados e dispostos (Souza et al., 2020). Nesse sentido, empresas do ramo da indústria visualizam essa prática com bastante relevância, percebendo assim a competitividade do mercado e a necessidade de inovações diante dessas questões ambientais (de Melo Silva et al., 2020). Por outro lado, o investimento para a implantação de usinas de reciclagem é bastante elevado e deve ser analisado (Brum et al., 2021).

Para ser possível a aplicação do concreto reciclado, devem ser realizados muitos estudos para sedimentar a utilização desses insumos nas diversas construções. Em um momento em que se discute a preservação ambiental, a reciclagem de entulhos produzidos nos canteiros de obra é uma importante alternativa quando o intuito é a minimização dos impactos ambientais, desde que haja uma seleção rigorosa em sua especificação, normalização e utilização desses materiais, assim o seu uso não ficará

restrito. (Molina, 2019; Nagalli, 2016).

As tecnologias são grandes aliadas para as pesquisas voltadas ao concreto reciclado, promovendo ainda mais a economia e a produtividade, reforçando cada vez mais a preocupação com relação ao meio ambiente, e serve de exemplo além de ser um grande diferencial para o mercado da construção civil (Santana et al., 2011).

O concreto reciclado é aplicado principalmente em bases de pavimentos, estruturas residenciais com $F_{ck} < 20\text{MPa}$ e produção de artefatos pré-moldados em concreto, tubos, lajes, blocos (Martínez-Molina et al., 2015).

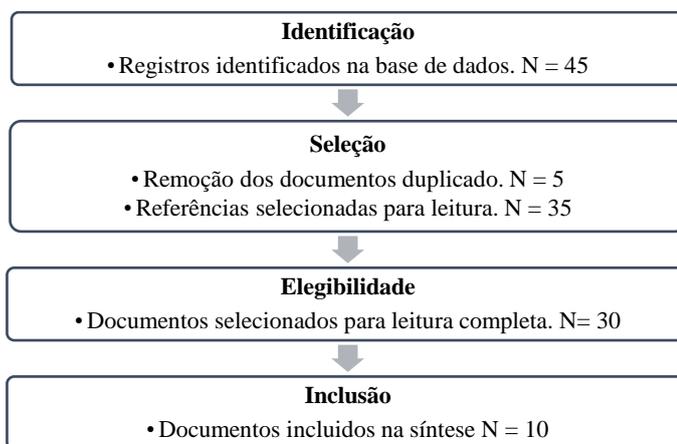
3. Metodologia

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica acerca da utilização do concreto reciclado na construção, bem como as suas vantagens e desvantagens com relação ao concreto convencional. A pesquisa foi realizada no período de agosto e setembro de 2022. As buscas foram feitas em diferentes bases de dados científicos como: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico e Web of Science. Os descritores utilizados nas pesquisas, no idioma português e inglês, foram: “concreto reciclado”, “resíduos sólidos na construção civil”, “reciclagem de resíduos sólidos” e “aplicações do concreto sustentável”.

Aqui, buscou-se entender as relações o uso do concreto sustentável e as consequências do concreto convencional para o meio ambiente. Para isso foi realizado um levantamento bibliográfico, foram somente incluídos os artigos no idioma inglês e português que possuíam nos títulos as palavras-chave citadas anteriormente, sendo estes revisados por pares e em revistas indexadas nos últimos 11 anos, entre 2011 a 2022. Foram excluídos artigos que não abordam a temática do concreto reciclado e que não estava diretamente relacionado com a implantação da sustentabilidade e gerenciamento de resíduos.

Ao todo foram analisadas 10 pesquisas, estando presente monografias, artigos e resumos, como esquematizado na Figura 5. Aqui, o principal intuito foi analisar aplicações, dados comprobatórios, normas e conceitos a respeito do processo de reciclagem de agregados gerados de construção e demolição, dando ênfase às vantagens e desvantagens de sua aplicação com auxílio da pesquisa em artigos. Os trabalhos foram lidos na íntegra e analisados para realização da discussão dos resultados reportados previamente na literatura.

Figura 5 - Fluxograma da revisão sistemática realizada no período de 2011 a 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

4. Resultados e Discussão

A partir dos critérios adotados na metodologia obtivemos um quantitativo de 10 artigos, lidos e analisados na íntegra.

Para uma melhor visualização dos dados extraídos para a análise, foram utilizados no Quadro 2 as seguintes variáveis: autores / ano do artigo; título e revistas indexadas.

Quadro 2 - Trabalhos selecionados para discussão entre 2011 a 2022.

SELEÇÃO	AUTORES/ ANO	TÍTULO DE ARTIGO	REVISTA
1	Santos; Cabral, 2020	Análise técnica da reciclagem de resíduos de Construção em canteiro de obras	Ambiente construído
2	Santana et al., 2011	Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais	Encontro latino-americano de pós-graduação
3	Brum et al., 2021	Aspectos econômicos, Sociais e ambientais da sustentabilidade de uma usina de reciclagem de resíduos de construção	Gestão & produção
4	Shi et al., 2016	Performance enhancement of recycled concrete aggregate — A review	Journal of Cleaner Production
5	Salles et al., 2021	A importância da segregação do agregado reciclado na resistência e na durabilidade do concreto estrutural	Ambiente Construído
6	Nanya; Ferreira; Capuzzo, 2021	Propriedades mecânicas e durabilidade de concretos com agregado reciclado	Matéria
7	Neto; Sales; Sales, 2018	Efeitos da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto de cimento Portland	Matéria
8	Silva e Capuzzo, 2020	Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados de resíduo de concreto utilizando a abordagem de mistura dois estágios	Matéria
9	Melo; Ferreira; Costa, 2013	Fatores críticos para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de RCC da região nordeste do Brasil	Ambiente Construído
10	Gularte et al., 2017	Estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil no município de Pato Branco (PR), utilizando a metodologia multiíndice ampliada	Engenharia Sanitária e Ambiental

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A partir dos artigos selecionados, avaliou-se as principais contribuições dos autores acerca a utilização do concreto reciclado na construção civil. A seguir, discutiremos os resultados evidenciados nesses estudos.

No trabalho de campo e estudo de Santos e Cabral (2020), houve a reciclagem de resíduos provenientes de argamassa e concreto utilizando um britador, equipamento usado para trituração dos agregados. Duas amostras compostas por 50% e 25% de agregado reciclado foram ensaiadas e apresentaram resultados satisfatórios, obtendo classificações de P6 e R5 de acordo com a norma NBR 13281. Essa análise ocorreu nos dois estados, fresco e endurecido, tornando possível realizar um comparativo entre os agregados natural e reciclado. Na análise granulométrica foram apresentadas similaridades entre os dois, diferenciando somente na quantidade de material pulverulento nos ARs, quantitativo esse inferior a 10%, que não intensificaria a fissuração (Santos & Cabral, 2020)

Para solucionar o problema de argamassa aderida aos resíduos, Shi e colaboradores (2016), destacam tratamentos de aprimoramento para o ACR, por meio dos métodos de remoção e do reforço da argamassa. Para removê-la, além da britagem, é usado o processo de pré-imersão em ácidos clorídrico, sulfúrico e fosfórico, tendo por consequência a redução da absorção de água. Os autores ainda reportam que para reforçar a argamassa aderida, deve-se utilizar os processos de emulsão de polímero, pulverização ou imersão em pasta de material pozolânico, biodeposição de carbonato de cálcio, imersão em solução de silicato de sódio e pela carbonatação do hidróxido de cálcio. (Shi et al., 2016).

Outro método bem comum é a pré-molhagem ou pré-imersão em água, abordagem essa relatada no estudo dos dois estágios de Silva e Capuzzo (2020), com a proposta de melhoria nas propriedades mecânicas e durabilidade, reduzindo a porosidade dos agregados. Esse processo ajudou a aliviar o problema e pode separar impurezas, porém a argamassa mais resistente não pode ser removida. (Silva & Capuzzo, 2020).

Quanto à durabilidade, o concreto reciclado apresenta resistência significativa à ação de agentes agressivos, que não são suficientes para atravessar a espessura mínima de cobertura. Porém, no experimento de Nanya e colaboradores (2021), a maior concentração relatada aconteceu aos 91 dias, após o preenchimento dos poros pela formação de carbonato de cálcio e penetração do íon cloreto por capilaridade. Assim, pode intensificar a corrosão das armaduras da estrutura caso não siga as normas de desempenho da ABNT (Nanya et al., 2022).

Outro experimento desenvolvido por Salles e colaboradores (2021), foram observados alguns parâmetros; quanto maior a quantidade de ACR e quanto maior a absorção de água, menor a trabalhabilidade do concreto. Além disso, os materiais produzidos em frações de 25, 50 e 100% de agregados reciclados apresentaram perdas de até 15% da resistência (Salles et al., 2021).

Segundo Neto e colaboradores (2018), o módulo de elasticidade em concretos reciclados sofre redução significativa comparado ao concreto de agregado natural, porque os ACR são mais porosos e menos rígidos. A integração de materiais mais deformáveis que os naturais provocaram a redução de 3,2% a 20,6% da resistência à compressão, valores estes justificados devido aos teores de agregado reciclado nas amostras estarem acima do recomendado (Viana Neto et al., 2018).

Para Santana e colaboradores (2011), os agregados reciclados podem ser utilizados em bases de pavimentos, estruturas com FCK menor que 20 MPa e produção de pré-moldados em concreto. Além disso, são retratadas obras como a construção de um condomínio em São Paulo, que chama atenção pela reciclagem, onde foi usado em forma de blocos de fundação e de concreto, muros, lajes e pré-moldados (Santana et al., 2011).

Em estudos realizados por Brum e colaboradores (2021), 93 usinas juntas produzem em média 431.500 m³ de agregado reciclado por mês com a capacidade máxima de 958.000 m³. Dentre elas, uma usina de reciclagem em Passo Fundo (RS) foi analisada, quanto a sua viabilidade econômica, social e ambiental, e apresentou bons resultados. Para a questão da viabilidade econômica da empresa, o investimento inicial é considerado elevado, porém traz um retorno em um período de 5 a 7 anos (Brum et al., 2021).

Uma contribuição do trabalho de Melo e colaboradores (2013) foi a análise da norma NBR 15114 (ABNT, 2004), que não tem requisitos de controle e qualidade do material reciclado; logo, há maior variabilidade desses agregados por região, direcionados às obras de pavimentação (Melo et al., 2013).

Para projeções futuras de usinas de reciclagem, o investimento tem alta probabilidade de ser economicamente viável. Neste sentido, Gularte e colaboradores (2017) sugerem um estudo mais aprofundado do mercado, sobre os custos e impostos para a instalação de uma nova usina, além dos custos de manutenção e funcionamento (Gularte et al., 2017)

Por fim, apesar de apresentar perdas em suas propriedades, o concreto reciclado possui técnicas de preparo que podem otimizar suas aplicações e melhorar suas características, mediante a um estudo prévio de qualidade. Em relação ao teor de agregado reciclado no concreto, é visualizada a perda de resistência conforme seu aumento, restando analisar seu desempenho

para cada finalidade. Para a reciclagem desse material, as usinas têm grande potencial de produção, e a garantia de qualidade pode aumentar a procura pelo material, proporcionar a geração de emprego, renda e lucratividade para as empresas.

5. Considerações Finais

Mediante o conteúdo abordado, é possível desmistificar a utilização do concreto reciclado na construção civil, em que a sua principal finalidade é minimizar os impactos causados ao meio ambiente, desde que haja o devido planejamento no tratamento desses resíduos. Os agregados reciclados variam de acordo com a origem e classificação, podendo apresentar bons resultados e gerar retorno socioeconômico mediante a um estudo prévio do mercado. Por fim, o Brasil tem grande potencial de reciclagem, contudo falta incentivo e controle da qualidade desse material para potencializar a produção e na confiabilidade da aplicação.

Para trabalho futuros, sugere-se ampliar os estudos sobre a avaliação de diferentes tipos de agregados reciclados, considerando as aplicações em blocos cerâmicos, concreto e estruturas. Além disso, também é necessário fazer um levantamento sobre a implantação de usinas de reciclagem de RCD, bem como as normas de gestão de resíduos sólidos aplicadas no Brasil.

Referências

- ABNT. (2004). *NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil: área de reciclagem: diretrizes para projeto, implantação e operação*. ABNT.
- Ângulo, S. C., Zordan, S. E., & John, V. M. (2001). Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. *São Paulo: SP*.
- Batista, M. L. (2022). Gestão de resíduos na construção civil: ênfase no desenvolvimento sustentável. *Brazilian Journal of Development*, 8(4), 23356–23373.
- Brasil. (2010). Política Nacional de Resíduos Sólidos - 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. *Política Nacional de Resíduos Sólidos-Disponível Em: Http://Www.Planalto.Gov.Br/Ccivil_03/_ato200,7-2010*.
- Brasil. (2017). *DECRETO Nº 30.524. FEVEREIRO. DE 17 DE. DE 2017. Plano Estadual de Resíduos Sólidos - Aracaju, SE*.
- Brasileiro, L. L., & Matos, J. M. E. (2015). Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, 61, 178–189.
- Brum, E. M., Pandolfo, A., Berticelli, R., Kalil, R. M. L., & Pasquali, P. B. (2021). Economic, social and environmental aspects of the sustainability of a construction waste recycling plant. *Gestão & Produção*, 28.
- CONAMA. (2002). *Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002*. Diário Oficial da União Brasília.
- Da Silva Barbosa, U., Salomão, P. E. A., Lauer, G. T., & Ribeiro, P. T. (2018). reutilização do concreto como contribuição para a sustentabilidade na construção civil. *Revista Multidisciplinar Do Nordeste Mineiro-Unipac ISSN*, 2178, 6925.
- de Conto, V., de Oliveira, M. L., & Ruppenthal, J. E. (2017). Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil. *Revista Gestão Da Produção Operações e Sistemas*, 12(4), 100.
- de Melo Silva, G. T., Ribeiro, C. C., Ribeiro, S. E. C., de Oliveira, D. M., de Oliveira, W. S., & Almeida, M. L. B. (2020). Resíduos de construção e demolição em tecnologia de concreto: uma revisão. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 46883–46896.
- dos Santos Filho, M. R. (2022). *Reciclagem dos Resíduos de Construção Civil e Demolições-RCD: análise da viabilidade econômica*. Editora Dialética.
- Farias Júnior, C. A., Santana, W. B., Seixas, R. de M., Gomes, L. G., & Maues, L. M. F. (2018). Análise do cenário atual de gestão dos resíduos sólidos de construção civil (rsc) na cidade de Abaetetuba/PA. *Encontro Nacional de Tecnologia No Ambiente Construído*, 2800–2807.
- Gularte, L. C. P., Lima, J. D. de, Oliveira, G. A., Barichello, R., & Pinto, M. A. N. (2020). Modelo de avaliação da viabilidade econômico-financeira da implantação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil em municípios brasileiros. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25, 281–291.
- Gularte, L. C. P., Lima, J. D. de, Oliveira, G. A., Trentin, M. G., & Setti, D. (2017). Estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil no município de Pato Branco (PR), utilizando a metodologia multi-índice ampliada. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22, 985–992.
- Klein, F. B., & Dias, S. L. F. G. (2017). A deposição irregular de resíduos da construção civil no município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 40.
- Leite, R. da S. (2016). *Concreto reciclado: da história do concreto à inovação da reciclagem* [Universidade Estadual da Paraíba]. <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/12158>
- Lima, S. F. de S., Buligon, L. B., Zambonato, B., & Grigoletti, G. de C. (2021). Sustainable construction management practices in a Brazilian medium-sized

city. *Ambiente Construído*, 21, 329–342.

Maiello, A., Britto, A. L. N. de P., & Valle, T. F. (2018). Implementação da política nacional de resíduos sólidos. *Revista de Administração Pública*, 52, 24–51.

Malešev, M., Radonjanin, V., & Marinković, S. (2010). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. *Sustainability*, 2(5), 1204–1225.

Martínez-Molina, W., Torres-Acosta, A. A., Alonso-Guzmán, E. M., Chávez-García, H. L., Hernández-Barrios, H., Lara-Gómez, C., Martínez-Alonso, W., Pérez-Quiroz, J. T., Bedolla-Arroyo, J. A., & González-Valdéz, F. M. (2015). Recycled concrete: a review. *ALCONPAT Journal*, 5(3), 224 – 237.

McNeil, K., & Kang, T. H.-K. (2013). Recycled concrete aggregates: A review. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 7(1), 61–69.

Melo, A. V. S., Ferreira, E. de A. M., & Costa, D. B. (2013). Fatores críticos para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de RCC da região nordeste do Brasil. *Ambiente Construído*, 13, 99–115.

Molina, M. C. G. (2019). Desenvolvimento sustentável: do conceito de desenvolvimento aos indicadores de sustentabilidade. *Revista Metropolitana de Governança Corporativa (ISSN 2447-8024)*, 4(1), 75–93.

Nagalli, A. (2016). *Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil*. Oficina de Textos.

Nanya, C. S., Ferreira, F. G. da S., & Capuzzo, V. M. da S. (2022). Propriedades mecânicas e durabilidade de concretos com agregado reciclado. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 26.

Ortigara, Y. V. B., & Fontanini, P. S. P. (2019). Reaproveitamento de resíduos de louças sanitárias em concretos—Mapeamento sistemático da literatura. *Workshop de tecnologia de processos e sistemas construtivoS*, 1–5.

Patto, A. L. D. B. (2006). *Minimização de impactos ambientais com a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados na fabricação de blocos de concreto*.

Pereira, E., Medeiros, M. H. F. de, & Levy, S. M. (2012). Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. *Ambiente Construído*, 12, 125–134.

Recena, F. A. P. (2002). *Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland*. Edipucrs.

Roque, R. A. L., & Pierri, A. C. (2019). Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. *Research, Society and Development*, 8(2), e3482703–e3482703.

Salles, P. V., Gomes, C. L., Poggiali, F. S. J., & Rodrigues, C. de S. (2021). A importância da segregação do agregado reciclado na resistência e na durabilidade do concreto estrutural. *Ambiente Construído*, 21, 177–196.

Santana, V. M. de, Paes, F. P., Santana, D. da S., Cerqueira, M. B. dos S., Silva, F. G. S., & Aragão, H. G. (2011). Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais. *Anais Do XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação*, 1–6.

Santos, D. V., & Cabral, A. E. B. (2020). Análise técnica da reciclagem de resíduos de construção em canteiro de obras. *Ambiente Construído*, 20, 363.

Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Chong, L., & Xie, Z. (2016). Performance enhancement of recycled concrete aggregate—a review. *Journal of Cleaner Production*, 112, 466–472.

Silva, C. M. M. de A., & Capuzzo, V. M. S. (2020). Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados de resíduo de concreto utilizando a abordagem de mistura dois estágios. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 25.

Souza, B. C. de, Paes, C. N. dos S., & Barboza, L. da S. (2020). Estudo do agregado graúdo reciclado de concreto como agente de cura interna. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 25.

Tavares, K. (2021). Utilização de técnicas de tratamento em rcd para produção de concretos sustentáveis.

Verian, K. P., Ashraf, W., & Cao, Y. (2018). Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 30–49.

Viana Neto, L. A. da C., Sales, A. T. C., & Sales, L. C. (2018). Efeitos da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto de cimento Portland. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23.