



## Ensaio sobre os aspectos técnicos, econômicos e sustentáveis do uso do concreto reciclado

Daniel Felipe Pereira Coelho<sup>1</sup>

### Como Citar:

COELHO, Daniel Felipe Pereira. Ensaio sobre os aspectos técnicos, econômicos e sustentáveis do uso do concreto reciclado. Revista Sociedade Científica, vol. 9, n. 1, p. 1654-1690, 2026. <https://doi.org/10.61411/rsc2026134519>

DOI: 10.61411/rsc2026134519

### Área do conhecimento:

Engenharias

### Sub-área:

Engenharia Civil

**Palavras-chave:** Concreto Reciclado; Construção Sustentável; Resíduos da Construção Civil; Agregados Reciclados; Viabilidade Econômica.

**Publicado:** 25 de junho de 2026.

### Resumo

O setor construtivo é uma das áreas de maior impacto ambiental e social justamente pela grande disposição de resíduos e emissão de poluentes para o meio ambiente. O esgotamento da matéria-prima poderá trazer grandes danos para a humanidade, tendo em vista a finitude de recursos que o planeta oferece. É nesse contexto que o concreto reciclado se apresenta como uma alternativa viável para a mitigação dos riscos socioambientais a médio e longo prazo para o mercado e sociedade, apresentando-se como uma forma de impedir a rápida exaustão dos recursos naturais em todo o planeta. Apesar disso, a prática do comércio deste produto ambiental detém pouca tradição, tendo em vista o desconhecimento ou até o descrédito das propriedades físicas e as contribuições ambientais que ele poderá exercer para as empresas da construção civil, inclusive econômicas. Para isso, o presente artigo (através de uma revisão bibliográfica) tem por objetivo apresentar as características sociais, econômicas e ambientais que o uso do concreto reciclado poderá trazer, fazendo um comparativo com o concreto convencional (não-reciclado), com a finalidade da plena divulgação da alternativa e o estabelecimento deste produto no mercado construtivo. Demonstrará que é possível haver a melhora do desempenho médio do concreto reciclado por meio de materiais da própria construção civil, como é o caso do vidro, cerâmica vermelha, PET e PVC. Ademais, evidencia-se a necessidade de novos estudos para investigar a correlação e covariância entre a disponibilidade desses materiais na construção civil e sua viabilidade econômica de tais componentes (aditivos) na cadeia produtiva do concreto ecológico.

## An essay on the technical, economic, and sustainability aspects of recycled concrete use

### Abstract

The construction sector is one of the areas with the greatest environmental and social impacts due to the large volume of waste generated and the emission of pollutants into

<sup>1</sup>Faculdade Anhanguera de Belo Horizonte, Belo Horizonte-MG, Brasil. Email: ✉



the environment. The depletion of raw materials may cause significant harm to humanity, given the finite nature of the planet's natural resources. In this context, recycled concrete emerges as a viable alternative for mitigating socio-environmental risks in the medium and long term, contributing to the conservation of natural resources and reducing the environmental impacts associated with conventional construction practices. Despite its potential, the use of recycled concrete remains limited because of insufficient knowledge and skepticism regarding its physical properties, technical performance, and environmental and economic benefits for construction companies. Therefore, this article, based on a bibliographic review, aims to analyze the social, economic, and environmental aspects associated with the use of recycled concrete, comparing it with conventional concrete in order to promote greater awareness and support its adoption within the construction industry. The reviewed studies indicate that the performance of recycled concrete can be improved through the incorporation of materials commonly found in construction waste, such as glass, red ceramic waste, PET, and PVC. Furthermore, the findings highlight the need for additional research to investigate the relationship between the availability of these materials and their economic feasibility as additives in the production chain of eco-friendly concrete.

**Keywords:** Recycled Concrete; Sustainable Construction; Construction and Demolition Waste; Recycled Aggregates; Economic Feasibility.

## 1. **Introdução**

O setor da construção civil é um dos agentes de maior impacto ambiental na sociedade. São expressivos tantos os volumes de resíduos que o ramo produz e que tem potencial de produzir, o que acarretará no rápido esgotamento da matriz global de matéria-prima, tendo em vista a sua finitude e a forma como é explorado principalmente no Brasil [43]. Tendo isso em vista, a reutilização de agregados da construção civil para a produção de concreto se apresenta como uma alternativa viável



para minorar os fatores de degradação ambiental. Mas, apesar ser uma proposta altamente vantajosa para as empresas e sociedade, existem muitos empecilhos que impedem a difusão do produto reaproveitado amplamente no ciclo produtivo.

Para isso, a conceituação de RCD (Resíduos da construção civil e Demolição) e de seus agregados, além da demonstração dos seus impactos ambientais, figuram-se como peças-chave. A compreensão dos tipos de resíduos aos quais o setor da construção civil produz (e suas gravidades) são importantes indicadores, além para a satisfatória gestão de resíduos, da necessidade do implemento de políticas públicas para a inclusão de alternativas ambientalmente viáveis no mercado construtivo. Assim, a macrovisão dos resíduos construção (RCD) e a especificação nos agregados (uma modalidade dos resíduos construtivos) tem por objetivo apresentar um panorama da abrangência e dos benefícios amplos que a reutilização de agregados poderá apresentar para a sociedade. Portanto, sua caracterização é imprescindível para a difusão da alternativa.

Já, por sua vez, a apresentação de metodologias de reutilização dos agregados e a demonstração das propriedades mecânicas do concreto reciclado apresentam três etapas. O primeiro é a demonstração das características mecânicas do produto final (concreto reciclado) em relação ao concreto tradicional e a exibição de três das alternativas aditivas que elevarão a performance do desempenho das propriedades físicas do concreto reciclado, tendo o foco em sua ampla inserção no mercado. A segunda etapa será baseada na exposição dos aspectos econômicos do concreto reciclado em relação ao concreto convencional e sua inserção no mercado. Já a terceira etapa foca nas características ambientais e benefícios sustentáveis que o concreto poderá exercer para a sociedade.

Assim sendo, quais serão as propriedades mecânicas (além de métodos que irão melhorar este desempenho), ambientais e econômicas do concreto reciclado em relação ao concreto tradicional, reduzindo, assim, impactos ambientais e sociais?



Portanto, analisar as vantagens da reutilização dos resíduos agregados da construção civil para a produção de concreto reciclado a partir de uma avaliação das propriedades mecânicas (por meio da apresentação de uma análise do desempenho do concreto reciclado e alternativas para a melhoria do desempenho), econômicas (comparações com o concreto reciclado) e ambientais (a partir da análise dos benefícios ambientais do concreto reciclado e sua capacidade de inserção mercadológica que o produto verde poderá agregar para a sociedade) é imprescindível para a compreensão do desenvolvimento sustentável na área da construção civil.

Ademais, a proposta de pesquisa visa, a partir do concatenamento de conceituação e caracterização dos resíduos, tendo em vista as vantagens que a difusão ampla da reutilização do concreto reciclado poderá acarretar, abranger uma perspectiva social, ambiental e de mercado do produto sustentável.

## 2. Metodologia

A presente pesquisa caracterizou-se com uma revisão bibliográfica qualitativa e quantitativa, a partir de análise de teses, dissertações, artigos científicos, normas técnicas, análises às legislações vigentes, resoluções e panoramas relacionados ao uso de agregados reciclados na construção civil para a produção de concreto sustentável.

O levantamento bibliográfico foi baseado na busca de textos acadêmicos no âmbito nos sites como o SciELO, Google Acadêmico, além de Periódicos da CAPES. Para a busca da publicação, foram utilizadas as seguintes palavras-chave: “resíduos”, “agregados”, “construção civil”; “econômico”, “concreto”, “reciclado”, “sustentabilidade”, “propriedades”, “tratamento”, “reciclagem”.

Como critério de seleção de pesquisa, foram utilizados estudos publicados preferencialmente nos últimos 20 anos (com exceção a trabalhos considerados fundamentais para o desenvolvimento argumentativo, que foram de períodos anteriores, como os de natureza técnica e conceitual), com temas que abordassem diretamente a



utilização de resíduos da construção civil na produção de concreto sustentável, seus aspectos técnicos, ambientais, econômicos, além de tecnológicos no contexto brasileiro.

Já os critérios de exclusão (não utilização como base bibliográfica) compreenderam publicações sem validação pela comunidade científica, sem autoria identificada, em sites editáveis e que não apresentassem uma fundamentação metodológica adequada.

Uma vez escolhidas as referências foram submetidas a um processo sistemático de análise bibliográfica, compreendendo as etapas de leitura exploratória, seletiva, analítica e o consequente levantamento dos dados. Tal procedimento possibilitou identificar as principais contribuições científicas para a consolidação do referencial teórico e forneceu a base subsidiária ampla sobre as implicações ambientais, econômicas e técnicas relativas à temática investigado.

### 3. **Desenvolvimento e discussão**

De acordo com Santos [44], os resíduos estão presentes na história da humanidade desde eras primitivas, mas somente ganharam grande notoriedade após a Primeira Revolução Industrial, massificadora tanto os meios de produção como do produto manufaturado a partir da filosofia Fordista de modal produtivo.

A ação humana é marcada pela transformação da matéria primitiva, encontrada na natureza (em seu estado originário) em uma manufaturada ou transformada que lhe infere tanto valor comercial (valor de troca) como valor de utilidade (valor de uso) como apontado por Marx [32]. Adjunto a estas ações transformadoras do ambiente, estão sempre presente restos ou excedentes da ação humana que não podem ser utilizados novamente em seu estado útil, o que define a própria concepção de resíduos [45].



Já para Souza [50], ao caracterizar os resíduos, define que: “Perda é toda quantidade de material consumida além da quantidade teoricamente necessária, que é aquela indicada no projeto e seus memoriais, ou demais prescrições do executor, para o produto sendo executado”.

A consciência global concernente à problematização da grande disposição dos resíduos começou a se tornar preocupante, não só tendo em vista a contradição entre a finalidade da matéria prima e desenvolvimento predatório pós-primeira revolução Industrial, mas também por se tornar em graves problemas sanitários para a população (proliferação de vetores de doenças contagiosas).

O relatório apresentado pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) em 2025, através de um estudo envolvendo 5.860 unidades de processamento de resíduos sólidos em 2025, revelou que dos 88,11 milhões de toneladas de massa de resíduos sólidos coletados por ano, um montante de 26% vão para unidades de disposição no solo, sendo que para o aterro sanitário vão 65,20 milhões de toneladas (destinação ambientalmente adequada), para os lixões vão 14,27 milhões de toneladas e para os aterros controlados vão 8,63 milhões de toneladas de resíduos (ambos prejudiciais para o meio ambiente) [6].

No que concerne à hodiernidade supranacional, a produção de resíduos a níveis globais tem aumentado gradativamente. Somente no Brasil, entre os anos de 2010 e 2019 a produção de lixo aumentou de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano e com um salto na geração per capita de 348,3 kg/ ano para 379,2 kg [4], como revela o Gráfico 1.

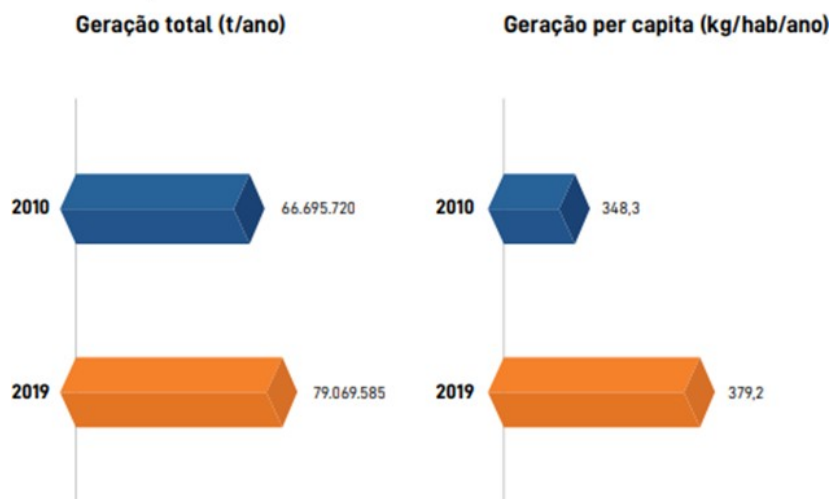


Gráfico 1: Aumento da produção de resíduos.

Fonte: ABRELPE [4].

É possível notar ainda que, em apenas 9 anos, segundo o Gráfico 1, houve um aumento de mais de 18,5 % na geração total de resíduos com um acréscimo de 8,8% na produção per capita. A principal preocupação dos especialistas ambientais é que tal acontecimento se atrela ao fato de que, além de se haver o aumento individual, há o crescimento populacional que exacerbará ainda mais o processo de geração de resíduos no país.

É exatamente nesse contexto que, no Brasil, através da lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 [9], foi instaurada uma proposta do poder público para tentar mitigar as grandes disposições de resíduos no meio ambiente, diminuindo, assim, seus impactos ambientais. Nesse contexto, conforme disposto no art. 13, inciso I, alínea h, da lei supramencionada, há a caracterização de resíduos da construção com o intuito de contextualizá-lo ao atual cenário:

(...) h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis. [9]

Já para a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, 307 de 5 de julho de 2002, os resíduos da construção civil e demolição:



(...) são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. [7]

Além disso, o art. 3º da Resolução 307 [7], ainda do CONAMA, apresenta subclassificações dos RCD da seguinte maneira:

- 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, meio-fio 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 outros. [7]

O setor construtivo representa um grande impacto socioambiental, justamente por ser um modal que apresenta uma das maiores parcelas do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro. Os resíduos provenientes desse setor detêm a maior densidade (quantidade de matéria /espaço ocupado) entre todos os tipos de resíduos produzidos, além de perfazer até 35% do lixo localizado nos aterros ao redor do mundo [46].

Leite [29] aponta que as novas demandas provenientes de novas concepções arquitetônicas aumentaram na contribuição do aumento do volume de resíduos construtivos. Além disso, como muitas construções precisam se adequar às novas estéticas arquitetônicas, mais resíduos são gerados por esse modal para a realização de reformas.

Entretanto, esse não é o principal fator que majora a produção de resíduos provenientes da construção na sociedade, mas sim o aumento populacional. Como, argumentam Carneiro *et al.* [15], o grande aumento populacional irá gerar uma demanda maior de habitações (envolverá, inclusive, processos de demolição e reconstrução), que atualmente é deficitário e isso irá aumentar tanto no consumo de matéria-prima e



esgotamento gradativo dos recursos naturais, como maior disposição de resíduos na natureza dentro do espaço urbano, o que acarretará e uma maior degradação ambiental, além da interrupção de vias e trânsito (dependendo do porte dos resíduos), sendo este último mais um empecilho para o desenvolvimento sustentável e econômico.

Além disso, existem resíduos causados pelas obras civis relacionados ao dimensionamento dos materiais e aos seus aspectos qualitativos. Quanto ao dimensionamento, a superprodução irá aumentar a quantidade de materiais dispostos nos meios urbanos e rurais, aumentando os excedentes causados pelos desperdícios. Já pelos aspectos qualitativos, a o péssimo desempenho dos materiais irá diminuir a vida útil das edificações, necessitando de novas reforma e, conseqüentemente, aumentando o volume de resíduos.

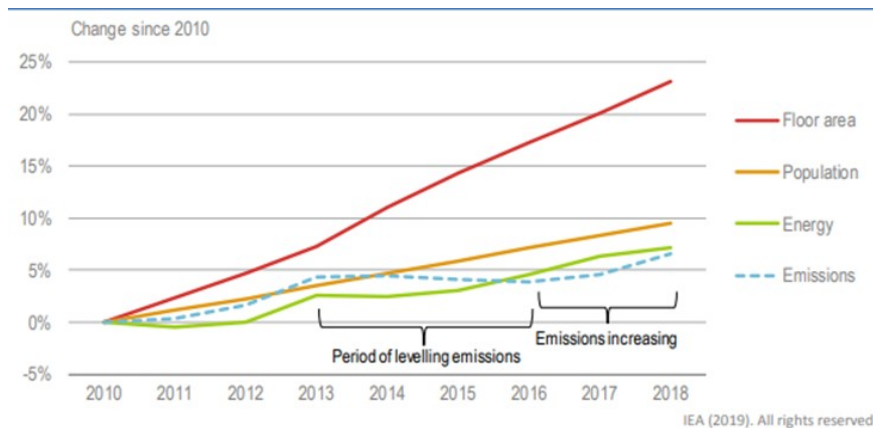
De acordo com Formoso *et.al.* [21], conforme citado por Silva e Vilela [47] existem outras causas das perdas no setor:

- Perdas por substituição: necessidade de utilização de um material com propriedades físicas superiores ao estipulado;
- Perdas por transporte: mal manuseio dos materiais e seu tempo de endurecimento;
- Perdas no processamento: despreparo da mão de obra em seguir os exatos traços do concreto;
- Perdas nos estoques: erros no cálculo quantitativo e dimensional;
- Perdas pela elaboração de produtos defeituosos: produtos com baixa qualidade nas propriedades físicas ou defeitos industriais que possibilitaram a perda da qualidade dessas mesmas propriedades físicas.

Segundo o Global Status Report ou Relatório de Status global [26], tornado possível pela International Energy Agency (IEA) (Agência de Energia internacional), revelou-se que, apenas em 2018, o setor construtivo foi responsável pela emissão de 39% do dióxido de carbono global, dentre as quais 11% vieram de produtos industrializados, como o ferro e cimento.

Além disso, o setor construtivo, também em 2018, aumentou a emissão de dióxido de carbono em 9.7 GtCO<sub>2</sub>, um aumento de 2% em relação a 2017 e de 7% em relação a 2010, segundo o mesmo relatório.

O Gráfico 2 revela que houve um aumento de 2% de aumento das emissões de dióxido de carbono pelo setor nos anos de 2017 e 2018 em relação aos anos anteriores, representando um agravante para o aquecimento global.



Source: Derived from IEA (2019a), *World Energy Statistics and Balances 2019*, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics) and IEA (2019b) *Energy Technology Perspectives*, buildings model, [www.iea.org/buildings](http://www.iea.org/buildings).

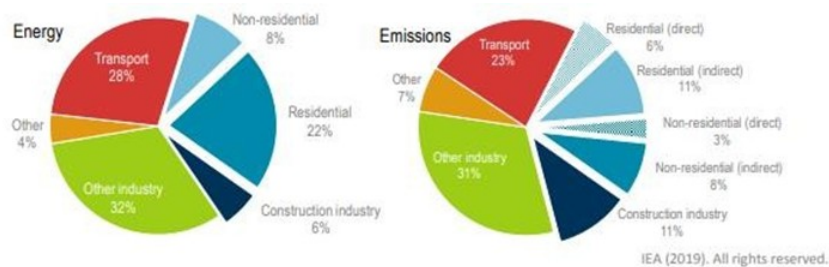
**Gráfico 2: Aumento de emissões globais de dióxido de carbono pelo setor Construtivo**

Fonte: IEA [26].

Conforme assimilado pelo Gráfico 2, na linha em vermelho há uma maior inclinação do que as demais, configurando-se que a demanda por energia do setor construtivo está aumentando desproporcionalmente em relação aos outros setores da sociedade, sendo, por conseguinte o principal agente no aumento das emissões globais.

A construção civil envolve uma série de fatores e logísticas englobando o transporte de materiais, fornecedores, indústrias, mineração (fornecimento da matéria-prima empregada) e outros, que envolverá um rol de concatenamento de áreas potencialmente poluidoras do meio ambiente e agravadoras dos danos ambientais.

Como apresentado pelo Gráfico 3 a seguir, quanto às emissões de dióxido de carbono e energia usada, as maiores frações são industriais, residenciais e advindos dos transportes na construção civil.



**Gráfico 3: Emissão de energia no setor construtivo p/ setor**

Fonte: IEA [26].

Conforme assimilado no Gráfico 3, existe uma grande quantidade de setores que a construção abrange, mostrando, assim, que os desafios da construção civil envolvem outras formas de poluições e de impactos ambientais.

Segundo Souza [50], no passado era sempre recorrente, durante o processo destinação final dos resíduos da construção civil, o mesmo destino dos outros resíduos em locais nem sempre autorizados, como rios e córregos, causando assoreamento, entupimento dos bueiros e promovendo, assim, enchentes em vias marginais. Segundo Silva e Vilela [47] “hoje há um crescimento benéfico das alternativas sustentáveis” que estão consequentemente alinhadas à política ambientalmente consciente, que leva as empresas privadas e públicas à prestação de contas e a reavaliarem suas práticas sociais e ambientais, principalmente através da boa imagem da companhia através da ACCOUNTABILITY (responsabilidades socioeconômicas e ambientais para a boa reputação da empresa no mercado de trabalho).

A apresentação de alternativas sustentáveis para a diminuição do impacto ambiental do setor construtivo é uma demanda imprescindível para a implementação de uma filosofia de desenvolvimento sustentável que visa, ao mesmo tempo, promover o



desenvolvimento econômico e apresentar a diminuição dos resíduos dispostos no meio ambiente, além de redução na emissão de gases e outros impactos sociais.

Tendo em vista o grande impacto ambiental desenvolvido pela construção civil, a agenda ONU/2030, propõe uma série de apoio sustentável aos países em desenvolvimento no seu 11º Objetivo, como apresentado a seguir:

11- Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis:

11.c Apoiar os países menos desenvolvidos, inclusive por meio de assistência técnica e financeira, para construções sustentáveis e resilientes, utilizando materiais locais. [34]

Além disso, o próprio CONAMA estabelece as diretrizes ambientais dos produtores de resíduos:

Art. 4º Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. [8].

Em meio a este contexto, a não geração em fator prioritário e a reciclagem em fator secundário, o concreto reciclado se apresenta, portanto, como uma alternativa que ao mesmo tempo atinge o objetivo secundário, que é, entre outras, a reciclagem e, conseqüentemente, o objetivo primário, com a diminuição da geração ou até não geração e exaustão de novas matérias-primas no processo, por meio do reaproveitamento das matérias-primas já existentes, diminuindo os impactos ambientais e sociais que o processo poderá contribuir.

Diante desses desafios de implementação e adoção de medidas ambientais através do uso do concreto reciclado, é necessário o desenvolvimento de uma análise técnica, econômica e sustentável entre o concreto reciclado e o convencional para cada vez mais haver a difusão das ideias sustentáveis no contexto social e, conseqüente, diminuir o agravante ambientais pelos desastres sociais que os resíduos da construção civil poderão causar para o meio ambiente.



### 3.1. Propriedades físicas do concreto reciclado

A relação entre as quatro propriedades físicas de trabalhabilidade, consistência, segregação e exsudação estão ligadas entre si justamente pelo fato de o concreto reciclado apresentar um maior índice de porosidade, o que aumenta os espaços vazios e a de absorção de água em até 5% em relação ao concreto convencional [29]. Além disso, Buttler [11] estabelece que a relação água / cimento é “cerca de três vezes maior nos dez primeiros minutos quando comparada com o agregado natural”.

Com um maior índice de vazios no concreto reciclado e maior absorção, a água irá preencher esses interstícios entre os componentes de diferentes granulometrias, justamente no momento em que a água, junto ao cimento, iria promover o fator aglutinante. O que se observa é uma menor consistência e, conseqüentemente, menor trabalhabilidade do concreto reciclado.

A Tabela 1 [29] a seguir mostra a relação entre o concreto convencional e o reciclado, em suas relações entre os componentes da mistura. Além de haver alteração na relação água/cimento, a alta absorção da água irá provocar a alteração do traço do concreto.

Tabela 1: Diferença na relação dos traços, água e agregados

Quantidade de materiais (g)						
Cimento	Areia		Água	Relação a/c	Traço em massa	Tipo de traço
	Natural	Reciclada				
624	1872	-	312	0,50	1:3	Referência
624	-	1715,4	374,4	0,60	1:2,75	Reciclado

Fonte: Leite [29].

Por outro lado, conforme a Tabela 1, esse mesmo fator de alta absorção da água juntamente com uma grande quantidade de agregados miúdos irão fazer com que o concreto reciclado detenha uma menor taxa de exsudação (que é o excesso de água) e, por isso, uma menor segregação (separação das misturas de maneira desforme) em



relação ao concreto convencional. A maior coesão ou entrosamento entre os componentes da mistura irão promover uma maior uniformidade, diminuindo a probabilidade de patologias da construção como “bicheiras” no concreto (advindas da segregação), que diminuem a resistência inicial do concreto. Logo, durante o processo de cura, o cuidado fundamental é manter o concreto constantemente hidratado, tendo em vista sua alta absorção de água.

### 3.2. Massa específica e densidade aparente

A massa específica do concreto reciclado é menor do que o do concreto convencional justamente pelo fato do concreto reciclado deter maior quantidade de vazios em seus interstícios. Enquanto que a relação entre massa específica seca, segundo Buttler [11], entre o concreto reciclado e o concreto convencional apresenta um fator médio de 0,86, a relação entre a massa específica saturada do concreto reciclado é quase 13% menor do que a do concreto convencional.

Para a compreensão desse fator, é necessário evidenciar que, devido aos espaços vazios entre os componentes, a argamassa reciclada (água e cimento) que naturalmente detém densidade (concentração de matéria por volume) menor do que o concreto, irá preencher os espaços vazios no lugar dos agregados miúdos (que não preencheram os espaços vazios), diminuindo, assim, a massa específica total do concreto.

Hansen & Hedegard [24], após algumas pesquisas, concluíram que a média de redução da massa específica em relação ao concreto convencional é entre 5% e 15%. Já Gonçalves [22], após alguns ensaios, concluíram que a perda da massa específica é de 4% em relação ao concreto convencional.

Para a Abera [1], no que tange, por sua vez, à densidade aparente do concreto reciclado, a partir de seu estudo com o concreto de traço 1:1,5:3, chegou à seguinte conclusão:



A densidade dos materiais de concreto que incorporam agregados reciclados de resíduos de construção e demolição diminui com o aumento do volume de materiais na produção de concreto. A substituição de até 35% apresenta a menor redução na densidade dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. [1]

### 3.3. Resistência à compressão

Buttler [11] afirma que os agregados graúdos são desprezados para a consideração da resistência de compressão do concreto. É a alta porosidade ou não, por outro lado, que irá definir o grau de entrosamento dos componentes.

Além disso, Ajdukiewicz & Kliszczewicz [3] ressaltam que a resistência de compressão do concreto é devido a relação água/cimento. Conforme a curva de Abrams, no Gráfico 4, é possível perceber uma relação inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a quantidade de água, menor a resistência do concreto e, quanto menor a quantidade de água na mistura do concreto, maior será a resistência à compressão.

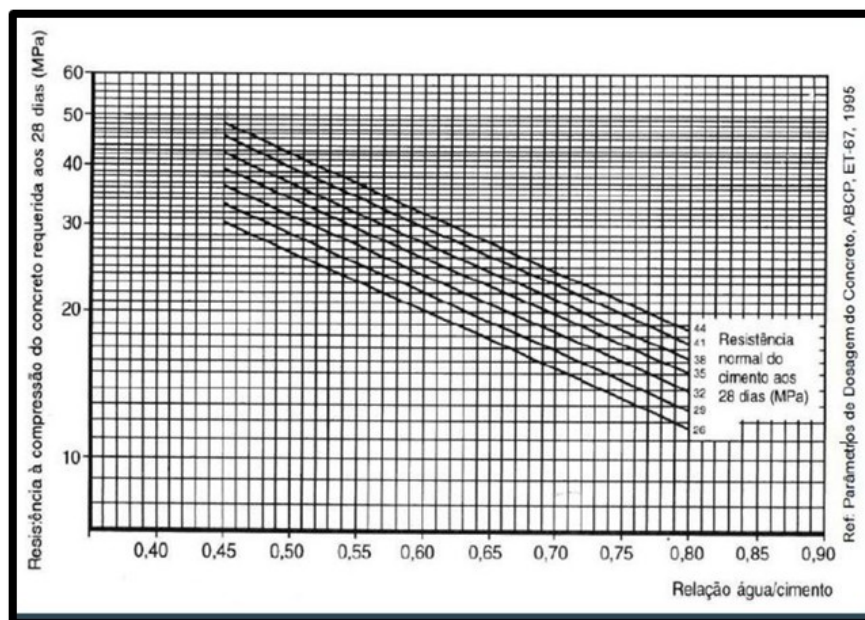


Gráfico 4: Curva Abrams

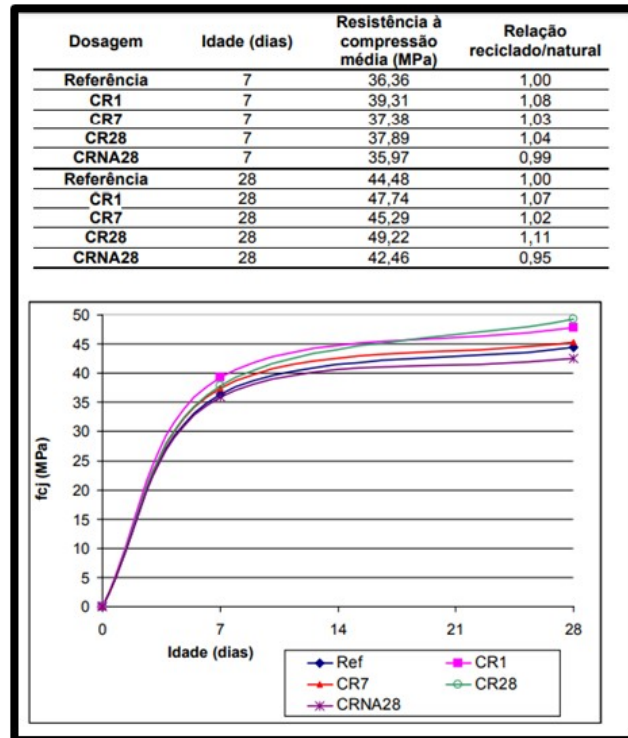
Fonte: Rodrigues [42].



O concreto reciclado, ao deter uma maior porosidade em relação ao concreto convencional, absorve uma maior quantidade de água. Para a manutenção da boa consistência e trabalhabilidade (manuseio), o concreto reciclado necessitaria de uma maior quantidade de água e, como visto no Gráfico 4, poder-se-ia concluir que uma maior quantidade de água iria provocar uma diminuição da resistência de compressão do concreto. Porém não é isso que se observa.

Segundo Ryu [41], a zona de transição (microestrutura que divide a matriz do cimento e os agregados), que seria a área ou elo mais fraco do cimento, não é afetada pela alta quantidade de água (que, segundo a curva Abrams, deveria diminuir a resistência), mas é afetada quando se diminuí a quantidade da relação água/cimento. Isso significa que, além de ter uma resistência maior na diminuição do traço da água em relação ao concreto convencional, a resistência do concreto reciclado não é diminuída com uma maior presença de água.

Após uma série de ensaios feitos desenvolvidos por Buttler [11] com concretos reciclados CR1 (concreto confeccionado com o agregado graúdo reciclado GR1 e agregado miúdo natural), CR7 (concreto confeccionado com o agregado graúdo reciclado GR7 e agregado miúdo natural), CR28 (concreto confeccionado com o agregado graúdo reciclado GR28 e agregado miúdo natural) CRNA28 (concreto confeccionado com o agregado graúdo reciclado GRNA28 e agregado miúdo natural), concluiu-se que todos eles adquiriram uma resistência à compressão superior ao concreto convencional (ou referência), com exceção do concreto CRNA28, conforme afirma a série de dados a seguir, na Figura 1:



**Figura 1: Ensaio de resistência à compressão.**

Fonte: Buttler [11].

Portanto, seria possível concluir que, em média, a resistência à compressão do concreto reciclado é 3,5% superior ao concreto convencional a 7 dias e 3,8% a 28 dias de cura.

Todavia, estudo mais recentes de Pereira Neto, Silva e Lima [38], utilizando como base um traço experimental pré-definido de 1:2:3 (com uma parte de cimento, duas de areia e três de brita), por meio do slump test e do ensaio de resistência à compressão, que o concreto reciclado representa uma perda de (em média) 40% da resistência à compressão se comparado ao concreto convencional, conforme a Tabela 2 e a Figura 2 a seguir:

Tabela 2: Resultado do ensaio de Resistência à Compressão

Nº da amostra	Resistência à compressão		Percentual de perda de resistência à compressão (%)
	Reciclado	Convencional	
1	17,81	34,04	47,67
2	18,60	25,01	25,63
3	16,95	30,03	43,55
4	19,41	32,56	40,38
5	14,50	32,58	55,49
6	17,75	24,42	27,31
<b>Média</b>	<b>17,50</b>	<b>29,77</b>	<b>40,01</b>

Fonte: Pereira Neto, Silva & Lima [38].

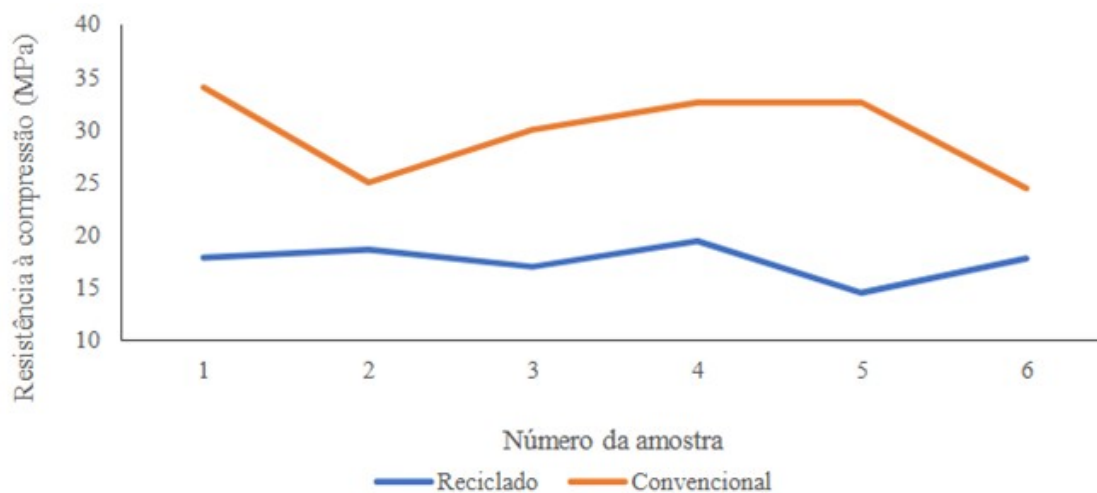


Figura 2: Comparação dos resultados do ensaio de resistência à compressão.

Fonte: Pereira Neto, Silva & Lima [38].

Todavia, foi destacado no mesmo estudo por Pereira Neto, Silva & Lima [38] que a compressão irá depender da natureza do agregado reciclado utilizado, demonstrado que o tipo de agregado também irá interferir em sua resistência à compressão e demais propriedades do concreto:



Embora predominasse a presença de elementos oriundos de estruturas de concreto no agregado utilizado neste experimento, foi possível encontrar a presença de elementos secundários, como tijolos, peças cerâmicas, dentre outros componentes (...). A presença de tais elementos acarreta fragilidades no concreto, além de interferir diretamente nas suas principais características, por possuírem propriedades diferentes, que, a depender da sua origem, podem provocar contaminações ou afetar e modificar a estrutura do produto final. [38]

Para Piccinalli *et al.* [39], a argamassa aderida, o tamanho e a qualidade dos agregados são os principais responsáveis pela diminuição da resistência à compressão do concreto reciclado em relação ao convencional.

### 3.3.1. Resistência à tração e resistência à compressão axial do concreto

A resistência é uma das propriedades mais importantes do concreto. Em síntese, é a capacidade do material de suportar cargas sem se romper e ela está diretamente ligada à sua porosidade. Isso porque, quanto maior a porosidade, ou os espaços vazios entre os agregados e a matriz de cimento, menor será o “entrosamento” entre os componentes construtivos e estes, menos adensados, promoverão menor resistência ao concreto reciclado em relação ao convencional, conforme afirma Hansen [23].

Com isso, tal seria a condição do concreto reciclado se não fosse considerado uma constante preponderante: um concreto com uma maior quantidade de agregados miúdos reciclados (AGR) irá aumentar a resistência do concreto do que se houver uma granulometria maior. A figura a seguir [29] demonstra o aumento da resistência à compressão do concreto a partir da substituição do agregado reciclado graúdo pelo agregado reciclado miúdo.

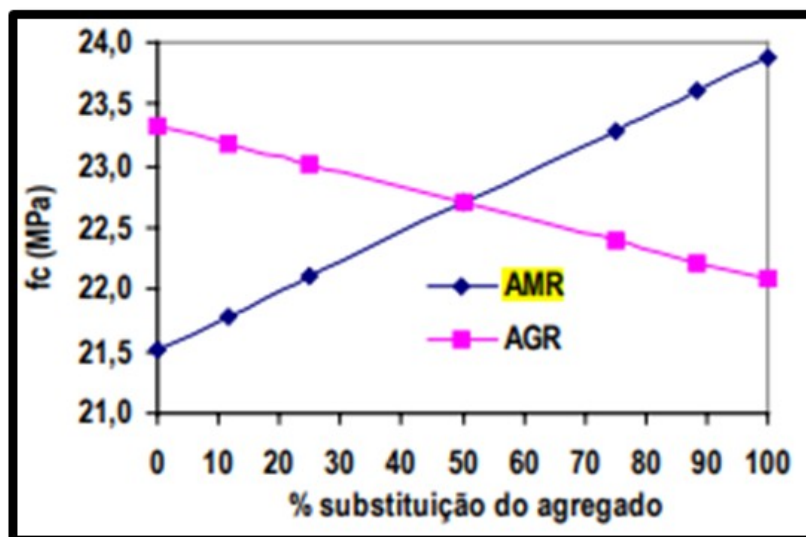


Gráfico 5: Aumento dos agregados miúdos reciclados.

Fonte: Leite [29].

A apresentação de uma maior resistência à compressão axial (Gráfico 5) e à tração do concreto reciclado está diretamente ligada à sua proporção de materiais finos, que preencherá os espaços vazios entre os componentes e causarão maior entrosamento entre os elementos, agregando maior resistência e consistência ao concreto.

### 3.3.2. Resistência à abrasão e módulo de deformação

Os ensaios revelam que a resistência de abrasão (ou desgaste) do concreto reciclado é inferior ao concreto convencional. Isso faz com que o módulo de deformação seja maior no concreto reciclado. Isso se dá principalmente pela fraca ligação entre o agregado reciclado e a argamassa [5], novamente, pela grande quantidade de espaços vazios.

Segundo Hansen e Narud [25], através de experimentos Los Angeles, encontrou-se uma perda por abrasão do concreto reciclado de 20% a 30% maior no concreto reciclado do que no convencional. Já para Quebaud [40] esta ordem é de 31,8%.

Ademais, de acordo com Hansen [23], a diminuição desta resistência tem a ver com a resistência de abrasão do concreto originário, proporcionando uma visão acerca



da qualidade do material empregado na produção do concreto do traço. Basicamente, quanto menor for a resistência do concreto inicial e quanto melhor for a qualidade do cimento (diminuição do fator água/cimento), maior será a resistência do concreto reciclado à abrasão.

Além disso, Dilbas *et al.* [18] verificou que a forma e a textura do agregado reciclado de concreto são influenciadas principalmente pelo tipo de resíduo utilizado no concreto original que foi usado para a produzir agregados de concreto reciclado.

Logo, outros fatores que poderão influenciar na perda resistência à abrasão, como a quantidade de matéria orgânica e impurezas presentes no concreto reciclado [17].

### 3.3.3. Adições usadas para melhorar desempenho do concreto reciclado

A adição de novos materiais poderá incrementar no aprimoramento das propriedades do concreto reciclado, principalmente no que tange o preenchimento dos espaços vazios:

- Através de um experimento realizado por López, Azevedo & Barbosa Neto [31], foi possível a substituição da areia do concreto reciclado por miúdo de vidro triturado, acarretando no aumento da resistência de tensão e da compressão, conforme há o aumento a porcentagem de uso do vidro miúdo em relação à areia substituída, como mostrado no Gráfico 6:

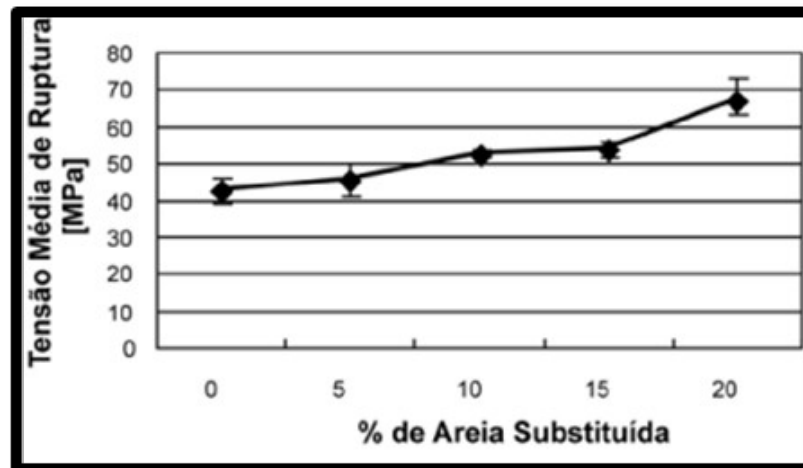


Gráfico 6: Tensão de ruptura por areia substituída.

Fonte: López, Azevedo & Barbosa Neto *et al.* [31].

O desempenho é resultado do preenchimento dos espaços vazios e, conseqüentemente, maior entrosamento entre os componentes do concreto reciclado.

- Segundo Candido, Barreto & Cabral [14], a substituição do pó de pedra por PET (Polietileno Tereftalato) triturado nos teores de 15%, para um traço de 1:5:1 (cimento, pó de pedra e água), com cimento do tipo Portland - CP II Z - 32 do fabricante Poty, com massa específica de 3,10 g/cm<sup>3</sup> e massa unitária de 1,42 g/cm<sup>3</sup>, obtêm-se a redução na massa seca, condutividade térmica, absorção e um aumento da resistência à compressão do bloco, conforme Tabela 3:



Tabela 3: Características físicas do bloco

Característica	REFERÊNCIA		Comportamento em relação ao traço de referência					
			15%		30%		45%	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
Massa Seca (kg)	2,88	5,41%	2,84	3,26%	2,58	5,33%	2,56	2,40%
Absorção (%)	12,77	7,78%	10,92	3,48%	13,34	5,55%	17,19	16,92%
Condutividade térmica (W/m.K)	2,33	1,70%	2,28	1,29%	2,36	0,90%	2,05	0,94%

Fonte: Cândido *et al.* [14].

É possível concluir (com a Tabela 3) que, além de maior resistência à compressão, o concreto será mais leve, além de uma melhor isolante térmico do que o concreto convencional.

- A partir da substituição de agregados reciclados de cerâmica vermelha, utilizando-se de Portland de Alta Resistência Inicial (CP V), observou-se um aumento na resistência à compressão em relação ao concreto convencional, apesar da retração não apresentar um coeficiente tão satisfatório, conforme Tabela 4:

Tabela 4: Resistência do concreto reciclado com a substituição do agregado por cerâmica vermelha

Teor de substituição	Agregado graúdo reciclado de cerâmica vermelha (rvg)	Agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha (rvm)
0%	1,00	1,00
50%	0,81	1,07
100%	0,63	1,14
Relação água/cimento		
0,46	0,60	0,74
1,00	0,79	0,62

Fonte: Cabral *et al.* [12].



- Segundo Mouchrek, Araújo e Picanço [33], a utilização de PVC (Policloreto de Vinila) como agregado graúdo em substituição parcial ao pó de brita pode melhorar a resistência à compressão do concreto produzido em proporções até, no máximo, 25% de substituição, conforme as tabelas 5, 6 e 7 a seguir, que foram demonstradas a 7 dias (25%, 50% e 75% de substituição), 14 dias (25%, 50% e 75% de substituição), e 28 dias (25% de substituição) de cura úmida:

Tabela 5: Valores da resistência à compressão aos 7 dias de cura úmida

<b>Bloco de cimento-brita 25% PVC</b>			
<b>Corpo de Prova</b>	<b>Área</b>	<b>Força máxima</b>	<b>Resistência à compressão</b>
C1	7853,98mm <sup>2</sup>	26068,88kgf	33,19MPa
C2	7853,98mm <sup>2</sup>	21879,95kgf	27,85MPa
C3	7853,98mm <sup>2</sup>	24679,94kgf	31,42MPa
<b>Bloco de cimento-brita 50% PVC</b>			
<b>Corpo de Prova</b>	<b>Área</b>	<b>Força máxima</b>	<b>Resistência à compressão</b>
C4	7853,98mm <sup>2</sup>	23162,28kgf	29,49MPa
C5	7853,98mm <sup>2</sup>	23777,79kgf	30,27MPa
C6	7853,98mm <sup>2</sup>	14741,19kgf	18,76MPa
<b>Bloco de cimento-brita 75% PVC</b>			
<b>Corpo de Prova</b>	<b>Área</b>	<b>Força máxima</b>	<b>Resistência à compressão</b>
C7	7853,98mm <sup>2</sup>	20172,20kgf	25,68MPa
C8	7853,98mm <sup>2</sup>	19440,02kgf	24,75MPa
C9	7853,98mm <sup>2</sup>	24859,97kgf	31,65MPa

Fonte: Mouchrek, Araújo e Picanço [33].



Tabela 6: Valores da resistência à compressão aos 14 dias de cura úmida

Bloco de cimento-brita 25% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C10	7853,98mm <sup>2</sup>	18803,39kgf	23,94MPa
C11	7853,98mm <sup>2</sup>	25655,42kgf	32,66MPa
C12	7853,98mm <sup>2</sup>	27086,70kgf	34,48MPa
Bloco de cimento-brita 50% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C13	7853,98mm <sup>2</sup>	25220,30kgf	32,11MPa
C14	7853,98mm <sup>2</sup>	29388,84kgf	37,41MPa
C15	7853,98mm <sup>2</sup>	24308,20kgf	30,95MPa
Bloco de cimento-brita 75% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C16	7853,98mm <sup>2</sup>	24637,70kgf	31,36 MPa
C17	7853,98mm <sup>2</sup>	29102,02kgf	37,05 MPa
C18	7853,98mm <sup>2</sup>	23502,20kgf	29,92 MPa

Fonte: Mouchrek, Araújo e Picanço [33].

Tabela 7: Valores da resistência à compressão aos 28 dias de cura úmida

Bloco de cimento-brita 25% PVC			
Corpo de Prova	Área	Força máxima	Resistência à compressão
C19	7853,98mm <sup>2</sup>	34160,90kgf	43,49MPa
C20	7853,98mm <sup>2</sup>	39845,60kgf	50,37MPa

Fonte: Mouchrek, Araújo e Picanço [33].

Pode-se notar que algumas alternativas para o problema de porosidade apresentam alternativas no próprio âmbito da construção civil, diminuindo a oneração e melhorando suas propriedades físicas.

#### 3.4. Aspectos econômicos do concreto reciclado



É notório o grande consumo da construção civil, tendo em vista a grande disposição de resíduos inertes em aterros sanitários, aterros controlados e nos lixões e, adjunto a isto, as grandes onerações provenientes deste setor.

Para Lima [30], o volume descartado em obras de construção civil é equivalente a 23% do que é consumido, implementando o mesmo percentual de gastos da obra. O ponto central é acerca do impacto econômico que estes desperdícios poderão acarretar para o orçamento final e as vantagens econômicas do uso do concreto reciclado poderá trazer para o empreendimento. Segundo Latterza & Machado Jr. [28], o custo do metro cúbico (m<sup>3</sup>) de concreto reciclado é cerca de 20 % do custo do agregado natural (não-reciclado).

Já para a mão de obra, Angulo [2], em um estudo na cidade de São Paulo, ao observar dois canteiros onde apenas um deles havia o processo de reciclagem de entulhos, chegou à conclusão de que a oneração é a mesma da produção de argamassas convencionais e das argamassas recicladas.

Fernandes [20], em outro estudo feito na cidade de Vitória, no Espírito Santo, Brasil mostrou que, entre os meses de janeiro a maio de 2015, foram retiradas mais de 13.800 toneladas da construção civil do município, custando aos cofres públicos uma oneração de R\$ 1.200.000 durante aquele período, tendo uma resultante final anual de R\$ 5.200.000 com gastos de limpeza urbana. Este mesmo autor, ainda nesse estudo, evidenciou que, em média, o preço do concreto reciclado é 40% mais barato que o concreto convencional.

Porém, um dos maiores entraves para a inserção do concreto no mercado é acerca do custo do seu investimento. Para Paiva & Ribeiro [36], o gasto ambiental desembolsado pela empresa de construção civil, é o “sacrifício” que a companhia deve fazer para evitar que os passivos ambientais (resíduos), fruto da economia do mercado liberal, crie maiores prejuízos que irão ocasionar onerações maiores. É mais do que uma atitude reativa: é uma ação proativa que, além de se fazer apenas “o que a legislação



determina”, usa da desvantagem da disposição de resíduos para um melhor aproveitamento e desempenho econômico próprio.

Donaire [19] aponta que as vantagens decorrentes destes gastos ambientais se dividem em econômicos e estratégicos. Econômicos porque irão promover uma redução de energia, água, sanções legais, além de aumento das receitas com a inserção do concreto reciclado (“produtos verdes”). Estratégicos porque irão estimular o aumento da sua participação no mercado e aumento da diversidade de novos mercados adquiridos (independentemente se atua em âmbito privado ou público).

Outros desafios que o mercado ecológico, de acordo com o que Peng *et al.* [37] relata (o sucesso da reciclagem como um hábito de mercado consolidado) depende da capacidade de reaproveitamento dos equipamentos vigentes e do nível do seu avanço e especialização.

Além disso, Simpson [48] ressalta que incentivos fiscais poderão influenciar no mercado da reciclagem na construção civil, como a diminuição à taxa de materiais recicláveis e subsídios a novas tecnologias responsáveis pela logística reversa, além de taxa por tonelada de resíduo desperdiçado pelo setor.

Assim, para a implantação das usinas de reciclagem da construção civil, Brito Filho [10] estabelece que três requisitos serão essenciais:

- Volume resíduo de construção e demolição possível de ser reciclado;
- Tipo de material e a aplicação;
- Local de implantação da unidade de reciclagem.

De todos os itens acima, o local de implantação das unidades de reciclagem irá apresentar uma maior importância, pois o grande consumo de combustíveis incrementará no aumento do orçamento final. Para tanto, existem duas modalidades de usinas: usinas fixas e usinas móveis de beneficiamento de resíduos de construção e demolição.



As usinas fixas irão apresentar, segundo Cairns *et al.* [13], uma maior diversidade de reciclagem, além do uso de materiais maiores e mais potentes que irão aperfeiçoar o processo de britagem. Já para as usinas móveis, as vantagens estão principalmente concentradas nos custos de implantação (5% mais barato), diminuição de gastos com o transporte, além de menor tempo de implantação de uma unidade de reciclagem.

### 3.5. Vantagens sustentáveis do concreto reciclado

A reciclagem dos materiais da construção civil, principalmente para a utilização do concreto reciclado, detém um grande peso na redução do consumo final de energia na produção dos materiais empregados. Segundo John [27], são gastos 4,5 % do consumo total de energia na construção civil e 84 % deste montante vem diretamente da produção de materiais. Para Leite [29], um desperdício de resíduos para a construção civil irá reduzir na capacidade e na disposição tanto de energia, como de materiais futuramente. Para a Civil Engineering Research Foundation (CERF), a construção civil é responsável por 15% a 50 % do consumo dos recursos naturais extraídos [49].

Quanto às alternativas sustentáveis, o concreto reciclado se apresenta como uma alternativa de não exaurir a capacidade e as reservas naturais globais, ainda mais que os concretos sustentáveis mais indicados são aqueles que apresentam no mínimo 60% de substituição de agregados graúdos e 15% de agregados miúdos advindos de resíduos reciclados [30], claro, dependendo do tipo de gráudo adequadamente selecionado para a melhora dos desempenhos mecânicos do concreto:

Em um estudo realizado com a substituição do agregado natural por agregado reciclado de RCD-R para produção de blocos estruturais de concreto, foram produzidos traços com substituição de 0%, 20%, 50%, 80% e 100% do agregado natural, ensaiados aos 14 e 28 dias de idade. Os blocos apresentaram resistências aceitáveis para a produção de blocos de concretos, tendo valores de resistência de 8,75 MPa, 7,18 MPa, 5,24 MPa, 4,93 MPa e 4,77 MPa. Os blocos foram submetidos aos ensaios para determinação da compressão e da capacidade de absorção de água. Os blocos com 20% e 50% apresentaram os melhores resultados com 94% e 58% do valor apresentado para o concreto de referência. [30]



O uso da técnica do concreto reciclado se iniciou em 2000, de modo que esses agregados foram utilizados em pré-moldados e argamassas, surgindo como um aprimoramento tecnológico, tendo em vista que este evita o desperdício nos canteiros de obras, além da poluição provocada pelos combustíveis que irão ser utilizados para realizarem o deslocamento do local do depósito de materiais até o local da obra.

Porém, muito mais do que das vantagens ambientais visíveis, o concreto reciclado irá provocar uma gama de sustentabilidade muito mais profunda. Além da redução da poluição do transporte dos materiais até os locais de obras, irá ajudar na diminuição da poluição com transporte, desde o momento de extração dos materiais porque haverá uma grande redução de demanda, tendo em vista que o concreto demandado, que agora é reciclado, cumpre sua função no mercado, evitando que haja mais extrações. Outro fator é a diminuição do uso do papel Kraft nos cimentos como o Portland, que poderão ser considerados como resíduo tóxico por apresentar resquícios do material e ser, geralmente, descartado de maneira inadequada. O papel Kraft é o maior resíduo vindo do cimento, porém não o seu maior impacto ambiental.

Além disso, segundo um estudo analítico desenvolvido por Paula [35] acerca da utilização do concreto reciclado na construção civil na cidade mineira de Caratinga, constatou-se que o reciclado agregado poderia diminuir a poluição e assoreamentos e rios, além de ajudar na diminuição de vetores de doenças como dengue, febre amarela.

O outro tipo de impacto que a poluição que a utilização do concreto reciclado irá inibir é na emissão de gases tóxicos que geralmente são emitidos na produção dos cimentos. Segundo o *Panoramas Setoriais Mudanças Climáticas*, de 2016 [16], as emissões da indústria cimentícia é cerca de 5% de toda emissão de carbono pela humanidade. Além disso, é evidenciado que no Brasil, a indústria de cimento foi responsável por 29,7% das emissões de CO<sup>2</sup> nas industriais só em 2012 (conforme o mesmo panorama). Além do carbono, existem outras partículas como poeiras e gases



que são misturados à chuva ácida, provocando alterações no nicho biológico de muitas espécies e consequente mudanças climáticas.

#### 4. **Considerações finais**

O setor da construção civil apresenta grandes impactos ambientais, tanto quando se considera e sua atuação em síntese isolada (geração e grande disposições finais de resíduos), como o seu desempenho compartilhado (grandes contribuições para a alteração de aspectos biológicos e ambientais no globo terrestre). É notório que os esforços globais para tentar mitigar os impactos socioambientais deverão ser mais estudados e analisados para que se viabilize o concreto reciclado como uma alternativa extremamente viável.

No que tange ao próprio concreto sustentável, ao se medir os seus aspectos técnicos, a conclusão que se pode chegar é que o resultados quanto às suas propriedades físicas (abrasão, resistência à compressão, tração e outros) irão depender do tipo de agregado originalmente selecionado para a sua produção. O seu maior limitante (do concreto reciclado) é a quantidade de vazios que caracterizam a sua alta porosidade, dificultando a coesão e ligação entre os componentes, apresentando queda no desempenho de algumas propriedades. Tais características (desejadas ou não) irão depender da função desempenhada do concreto na construção.

Todavia o problema da porosidade do concreto reciclado poderá ser mitigado com a inserção de agregados miúdos que preencherão os vazios entre os seus interstícios, facilitando a coesão. Para isso, poderão ser utilizados resíduos da própria construção civil, como vidros miúdos triturados, PET, cerâmica vermelha e PVC. Ademais, novos estudos deverão ser realizados para a verificação da correlação e covariância entre a disponibilidade desses materiais na construção civil e a viabilidade econômica de inserção de tais componentes (aditivos) na cadeia produtiva do concreto ecológico.



É necessário, ainda, incentivos fiscais como subsídios em “produtos verdes” ou taxaço de resíduos para que o processo de inserço ambiental do produto sustentável se torne uma tradiço no mercado da construço civil.

## 5. **Declaraço de direitos**

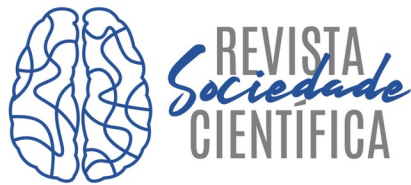
O autor declara ser detentor dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra(o) Revista/Journal. Declara que as imagens e textos publicados são de responsabilidade do autor, e não possuem direitos autorais reservados a terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declara respeitar os direitos de terceiros e de Instituiçoões públicas e privadas. Declara não cometer plágio ou autoplágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade do autor.

## 6. **Referências**

1. ABERA, Y. A. Performance of concrete materials containing recycled aggregate from construction and demolition waste. *Results in Materials*, v. 14, p. 100278, 2022. DOI: 10.1016/j.rinma.2022.100278.
2. ANGULO, S. C. *et al.* Modelo hierárquico genérico para a gestão de resíduos sólidos urbanos. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999. 22p. (Trabalho de disciplina PCC 5042).
3. AJDUKIEWICZ, A.; KLISZCZEWICZ, A. Influence of Recycled Aggregates on Mechanical Properties of HS/HPC. *Cement and Concrete Composites*, v. 24, p. 269-279, 2002. DOI: 10.1016/S0958-9465(01)00012-9.
4. ASSOCIAÇO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2019/2020. São Paulo: ABRELPE, 2020.
5. BAZUCO, R. S. Utilizaço de agregados reciclados de concreto para a produço de novos concretos. Florianópolis, 1999. 100 p. Dissertaço (Mestrado) – Curso



- de Pós graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.
6. BRASIL. Ministério das Cidades. Relatório dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos – SINISA, 2025. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2025.
  7. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=305](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305). Acesso em: 22 jun. 2026.
  8. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 19 jan. 2012. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=652](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=652). Acesso em: 22 jun. 2026.
  9. BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, 2010.
  10. BRITO FILHO, J. A. Cidades versus entulho. *In*: SEMINÁRIO DESENVOL. SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: Comitê Técnico do IBRACON; CT 206 – Meio Ambiente, 1999. p.56-67.
  11. BUTTLER, A. M. Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. 2003. Disponível em:



- <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06082003172935/publico/buttler.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.
12. CABRAL, A. E. B.; SCHALCH V.; MOLIN, D. C. C. Dal; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, Rasiah Sri. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, São Paulo, v. 55, n. 336, p. 448-460, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/DkRynRJfxQDpRK9qpTqfz4S/?lang=pt>. Acesso em: 17 set. 2022.
13. CAIRNS, R.; DI NIRO, G.; DOLARA, E. The use of RAC in prefabrication. *In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*. London: Thomas Telford Pub., 1998b. p. 371-379.
14. CÂNDIDO, L. F.; BARRETO, J. M. L.; CABRAL, A. E. B. Avaliação de blocos de concreto produzidos com PET reciclado. *Anais: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Maceió: ANTAC, 2014.
15. CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A.; COSTA, D. B. *et al.* Characterization of C&D waste and processed debris aiming the production of construction materials. *In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE*, 2000, São Paulo, Brazil. *Proceedings...* [CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000. p. 10.
16. CARVALHO, P. S. L. de; MESQUITA, P. P. D.; MELO, L. P. D. Cimento. *In: Panoramas setoriais: mudanças climáticas*. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2016 p. 31-37.
17. COUTINHO, A. S. *Fabrico e propriedades do betão*. 3.ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997. v. 1. 401p.



18. DILBAS, H.; ŞİMŞEK, M.; ÇAKIR, Ö. An investigation on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete (RAC) with and without silica fume. *Materials Today: Proceedings*, v. 5, n. 11, p. 24499-24508, 2018. DOI: 10.1016/j.matpr.2017.11.370.
19. DONAIRE, D. *Gestão ambiental na empresa*. São Paulo: Atlas, 1995. p. 36-37.
20. FERNANDES, D. Resto de obra vira material de construção mais barato em usina de reciclagem. *ES Hoje; Meio ambiente*; junho de 2016. Anais eletrônicos...
21. FORMOSO, C. T. *et al.* Um estudo sobre as perdas de materiais na construção civil e suas principais causas. *In: Encontro nacional em tecnologia do ambiente construído*, 6., 1993. *Avanços em tecnologia e gestão da produção de edificações*. São Paulo: USP, v.2, p. 571-580, 1993.
22. GONÇALVES, R. D. C. *Agregados reciclados de resíduos de concreto: um novo material para dosagens estruturais*. Dissertação de Mestrado em Estruturas. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2001.  
[DOI:10.11606/D.18.2016.tde-06052016-150748](https://doi.org/10.11606/D.18.2016.tde-06052016-150748).
23. HANSEN, T. C. *RILEM Report 6 Recycling of Demolished Concrete and Masonry*, London, E&FN Spon an imprint of Chapman & Hall, 1992. 305p.
24. HANSEN, T. C.; HEDEGARD, S. Properties of recycled aggregate concretes as affected by admixtures in original concretes. *ACI Materials Journal*, v. 81, n. 1, p. 21-26, 1984.
25. HANSEN, T. C.; NARUD, H. Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate. *Concrete International*, v. 5, p. 79-83, 1983.
26. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA); UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *Global Status Report for Buildings and Construction 2019: Towards a Zero-Emissions, Efficient and Resilient*



- Buildings and Construction Sector. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019> . Acesso em: 22 jun. 2026.
27. JOHN, V. M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. *In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO*, 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997. p. 21-30.
28. LATTERZA, L. M.; MACHADO JUNIOR, E. F. Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição de painéis leves de vedação. *In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL*, 28., 1997, São Carlos. Anais... São Carlos: EESC/USP, 1997. p. 1967-1975.
29. LEITE, M. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Rio de Janeiro, 2001.
30. LIMA, M. N. N. Concreto reciclado: uma alternativa sustentável para mitigar os impactos ambientais e econômicos da construção civil. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Vale do Aço, 2016. Disponível em: <http://repositorio.favale.edu.br:8080/jspui/bitstream/123456789/110/1/TCC%20Maria%20Nilda%20Nascimento%20Lima.pdf> . Acesso em: 14 set. 2022.
31. LÓPEZ, D. A. R; AZEVEDO, C. A. P. de; BARBOSA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. Cerâmica, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/7JgYJfLrYZBgMKMhRFNJ8Fz/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 14 set. 2022.



32. MARX, Karl. A mercadoria. *In*: MARX, Karl. O Capital: Crítica da economia política. Livro I: O processo de produção do capital. Trad. Rubens Enderle. São Paulo: Boitempo, 2013, p. 113-158.
33. MOUCHREK, R. M.; ARAÚJO, M.; PICANÇO, M. Estudo da resistência à compressão do concreto desenvolvido com resíduos de PVC. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 13, n. 4, 2021.
34. ONU BR. Nações Unidas no Brasil. A Agenda 2030. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 21 mai. 2022.
35. PAULA, N. F. A utilização do concreto reciclado na construção civil na cidade de Caratinga/MG. Caratinga, 2016. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/621/1/Trabalho%20de%20Conclus%3a3o%20de%20Curso%20-%20Natalia%20Fagundes%20Paula.pdf>. Acesso em: 27 set. 2022.
36. PAIVA, P. A. de; RIBEIRO, M. S. A reciclagem na construção civil: como economia de custos. *Revista Eletrônica de Administração - REA*. Programa de Mestrado em Administração. FECEF. Edição Publicada – REA no. 06 Ano 2005 - Edição 06 – v. 05 - Número 01 – Janeiro/Junho 2005. Disponível em: <https://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea/article/view/185>. Acesso em: 24 set. 2022.
37. PENG, C. L.; SCORPIO, D. E.; KIBERT, C. J. Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. *Construction Management and Economics*, v. 15, p. 49-58, 1997.
38. PEREIRA NETO, L. M.; SILVA, D. M. da; LIMA, C. M. T. de. Desempenho mecânico do concreto com agregados reciclados: estudo comparativo com o concreto convencional. *Revista de Estudos Empíricos em Direito (REER)*, v. 12, n. 1, p. 102-113, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.15843840.



39. PICCINALI, A.; DIOTTI, A.; PLIZZARI, G.; SORLINI, S. Impact of recycled aggregate on the mechanical and environmental properties of concrete: a review. *Materials*, Basel, v. 15, n. 5, art. 1818, 2022. DOI: 10.3390/ma15051818.
40. QUEBAUD, M. *Caracterisation des granulats recycles etude de la composition et du comportement de betons incluant ces granulats*. 1996. 247p. These (Doutorado Génie Civil) – Luniversité D'Artois, 1996.
41. RYU, J. S. An Experimental Study on the Effect of Recycled Aggregate on Concrete Properties. *Magazine of Concrete Research*, v.54, n.1, p.7-12, 2002.
42. RODRIGUES, Púlio Penna Firme. *Parâmetros de dosagem do concreto*. 4. ed. rev. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2005. (ET-67).
43. ROTH, C.; GARCIAS, C. M. *Construção civil e a degradação ambiental*. 2009. Disponível em: <https://revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/169>. Acesso em: 24 set. 2022.
44. SANTOS, G. T. dos. *Energia que vem do lixo*. 2002. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/2455>. Acesso em: 15 set. 2022.
45. SCHMIDT, M. J. M. S.; SILVA, O. H. da. *Resíduos gerados pela construção civil: Aterro de Inertes – Práticas Recomendadas*. 2000. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ibracon/2000/CT206.pdf>. Acesso em: 09 out. 2022
46. GAFFAR, S. H.; BURMAN, M.; BRAIMAH, N. Pathways to Circular Construction: An Integrated Management of Construction and Demolition Waste for Resource Recovery. *Journal of cleaner production*, v. 244, p. 118710, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118710



47. SILVA, C. R. de O.; VILELA, F. O. Utilização do entulho como agregado para a produção de concreto reciclado. 2018. Disponível em:  
<http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/episteme/article/view/885/800>.  
Acesso em: 14 set. 2022.
48. SIMPSON, D. Recycled aggregates in concrete – a realist’s perspective. Concrete, v. 33, n. 06, p. 17, 1999.
49. SJÖSTRÖM, C. Sustainable Construction. Proceedings of the CIB Symposium on Construction and Environment: Theory into Practice, São Paulo, 1996.
50. SOUZA, U. E. L. de. Como reduzir perdas nos canteiros: manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. São Paulo: Pini, 2005