



Utilização de resíduos da construção civil como agregados reciclados em concretos: Um estudo de caso em Ribeirão Preto/SP

Use of construction waste as recycled aggregates in concrete: A case study in Ribeirão Preto/SP

Eduardo Bonarelli dos Santos^a, Luan Vitor Pereira Trecossi^b, Marília Vasconcellos Agnesini^{a,b}, Lisandro Simão^a, Isadora Alves Lovo Ismail^{a*,b,c}

^a Universidade de Ribeirão Preto-UNAERP, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental. Avenida Costábil Romano, n. 2201, bloco D, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. CEP: 14096-900. E-mail: ebonarelli@gmail.com, magnesini@unaerp.br, lsimao@unaerp.br, iismail@unaerp.br *(Autor correspondente).

^b UNAERP, Curso de Graduação em Engenharia Química. Avenida Costábil Romano, n. 2201, bloco D, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. CEP: 14096-900. E-mail: luan.trecossi@sou.unaerp.edu.br.

^c Universidade de São Paulo-EESC/USP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento-PPGSHS. Avenida Trabalhador São Carlense, n. 400, São Carlos, São Paulo, Brasil. CEP: 13566-590. E-mail: isadora_ismail@usp.br.

ARTICLE INFO

Recebido 13 Dez 2024

Aceito 19 Set 2025

Publicado 07 Jan 2026

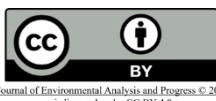
ABSTRACT

The growing environmental concern within the construction sector has driven the adoption of sustainable practices to reduce and reuse waste. This study presents an applied case of using concrete waste as recycled aggregates in a large-scale housing development in Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil. The study aimed to assess the technical and economic feasibility of reusing concrete waste *in loco*, analyzing the physical and mechanical properties of the recycled material and comparing them with those of conventional concretes. The concrete produced with recycled aggregates achieved a characteristic compressive strength of 15 MPa and a slump of 160 mm, indicating satisfactory performance for non-structural applications such as sidewalks and pavements. The economic analysis showed that, despite operational limitations, recycled aggregates can reduce direct production costs by approximately 8% compared to conventional concrete. The study highlights the technical and environmental potential of recycling construction waste directly on construction sites, reinforcing the importance of sustainable practices and efficient construction and demolition waste management in large-scale housing projects.

Keywords: Construction and demolition waste, recycled aggregates, sustainability.

RESUMO

A crescente preocupação ambiental no setor da construção civil tem impulsionado a adoção de práticas sustentáveis voltadas à redução e ao reaproveitamento de resíduos. Este estudo apresenta um caso de aplicação de resíduos de concreto como agregados reciclados em um grande empreendimento habitacional em Ribeirão Preto/SP. O estudo objetivou avaliar a viabilidade técnica e econômica do reaproveitamento de resíduos de concreto *in loco*, analisando as propriedades físicas e mecânicas do material obtido e comparando-o com parâmetros de concretos convencionais. O concreto produzido com agregados reciclados apresentou resistência característica de 15 MPa e abatimento de 160 mm, indicando desempenho satisfatório para aplicações não estruturais, como calçadas e pavimentações. A análise econômica demonstrou que, mesmo com limitações operacionais, o uso de agregados reciclados pode reduzir os custos diretos de produção em aproximadamente 8% em relação ao concreto convencional. O estudo evidenciou o potencial técnico e ambiental da reciclagem de resíduos de construção civil em canteiros de obras, reforçando a importância de práticas sustentáveis e do gerenciamento eficiente de Resíduos de Construção Civil (RCC) em empreendimentos habitacionais de grande porte.



Journal of Environmental Analysis and Progress © 2016
is licensed under CC BY 4.0

Palavras-Chave: Resíduos da construção civil, agregados reciclados, sustentabilidade.

Introdução

A construção civil é um dos setores mais representativos da economia global, mas também um dos principais geradores de impactos ambientais, em razão do elevado consumo de recursos naturais e da grande quantidade de resíduos gerados em obras e demolições. No Brasil, estima-se que os resíduos da construção representem mais de 60% do total de resíduos sólidos urbanos (ABREMA, 2024). Esses materiais, quando não gerenciados adequadamente, podem causar obstrução das drenagens, contaminação do solo e degradação visual urbana.

O primeiro marco regulatório para a gestão de Resíduos da Construção Civil (RCC) no Brasil foi a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 2002 (CONAMA, 2002). Essa resolução classifica os resíduos provenientes de construções, reformas, demolições e escavações, incluindo materiais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto, metais, madeiras, entre outros. Com o passar dos anos, a Resolução nº 307 foi aprimorada por outras resoluções, a saber: Resolução nº 348 (2004), Resolução nº 431 (2011), Resolução nº 448 (2012) e Resolução nº 469 (2015). Segundo Oliveira (2015), a construção civil é uma das maiores forças econômicas globais, responsável por 40% da economia mundial, 34% do consumo de água e 40% da energia produzida. No Brasil, o setor consome 20% da energia e aproximadamente 50% da eletricidade gerada. A disposição inadequada dos RCC pode causar impactos ambientais graves, como contaminação de corpos d'água, obstrução de vias e drenos, poluição do solo, entre outros.

A composição dos resíduos de construção civil varia conforme o tipo de obra e a localização. Dados da ABREMA indicam que foram produzidas aproximadamente 44 milhões de toneladas de RCC em 2023 (ABREMA, 2024). No Brasil, a destinação adequada desses resíduos ainda é um desafio. Poucos municípios possuem a infraestrutura necessária, como aterros para inertes e usinas de reciclagem de resíduos de Classe A, conforme aponta Sáez (2014), bem como determinam a Resolução nº 307/2002 do CONAMA (CONAMA, 2002) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2010). Como resultado, muitos RCC são descartados de forma inadequada, o que agrava os problemas ambientais (Perina & Trannin, 2019).

Mattos (2014) destaca a importância de analisar custos, equipamentos e viabilidade antes

de decidir reciclar resíduos em obras. Segundo Grigoli (2001), existem diversas formas de utilizar os agregados reciclados provenientes de RCC de Classe A, como na produção de argamassa, na instalação de portas e janelas, na fixação de tubulações elétricas e hidráulicas, no assentamento de blocos de cerâmica, entre outras.

A reciclagem de RCC no Brasil vem crescendo, especialmente após a Resolução 307 do CONAMA, de 2002, que incentivou a instalação de novas usinas de reciclagem (Miranda et al., 2016). Tecnologicamente, as usinas evoluíram significativamente, tornando-se mais eficientes. Desde 2010, a introdução de usinas móveis e híbridas, equipadas com tecnologias de triagem e lavagem, elevou a qualidade dos agregados reciclados (Abrecon, 2022).

O concreto com agregados reciclados é feito a partir de restos britados, substituindo, total ou parcialmente, os agregados tradicionais, que são menos porosos e conferem maior força e durabilidade ao concreto. Stetter (2018) destaca que a principal fonte de resíduos para viabilizar o uso de agregados reciclados é a produção de concreto. No entanto, os agregados reciclados apresentam maior absorção de água devido à maior porosidade decorrente da presença de argamassa residual (Van Acker, 1996).

A reciclagem de RCC envolve diversas etapas, adaptadas da Engenharia de Minas, como a separação preliminar de concreto armado, a eliminação de contaminantes, a cominuição (britagem ou moagem) dos resíduos e a remoção de materiais indesejáveis, para melhorar a qualidade do agregado reciclado (Chaves et al., 2006). Equipamentos móveis são utilizados para reduzir a distância entre o processamento e a utilização do material reciclado, conforme as diretrizes da ABNT (NBR 15114, 2004). Além disso, é crucial controlar a emissão de material particulado, como a sílica em suspensão, durante as operações de britagem e peneiramento, por meio da instalação de abatedores de poeira e coletores nas máquinas, conforme exigido pela NR 15 do Ministério do Trabalho (Santos & Pinto, 2008).

Portanto, embora tradicional, a construção civil precisa adaptar-se rapidamente para incorporar práticas sustentáveis que minimizem os impactos no meio ambiente e na infraestrutura urbana. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos exige que as empresas do setor gerenciem adequadamente seus resíduos, evitando o descarte irresponsável. Uma das estratégias para conciliar produtividade com sustentabilidade é a reciclagem

de resíduos da construção, transformando-os em novos produtos, como concreto com agregados reciclados, móveis rústicos e outros itens.

Neste contexto, este estudo se diferencia por seu caráter aplicado, ao apresentar um estudo de caso em um empreendimento habitacional de grande porte, executado por uma construtora da região de Ribeirão Preto/SP que, à época da obra, não dispunha de nenhuma ferramenta estruturada de gerenciamento de RCC. O estudo descreve a implementação prática do reaproveitamento *in loco* de resíduos de concreto, fornecendo dados técnicos, econômicos e operacionais. Assim, mais do que propor uma metodologia inédita, buscou-se documentar e analisar a aplicação real de práticas de reciclagem e reutilização de resíduos, contribuindo para a compreensão dos desafios e

potencialidades da gestão sustentável em obras de grande porte. Diante disso, o estudo objetivou analisar a utilização de resíduos da construção civil como agregados reciclados no concreto, por meio de um estudo de caso no município de Ribeirão Preto/SP.

Material e Métodos

Local do estudo

O estudo foi realizado em um empreendimento habitacional de grande porte, localizado na cidade de Ribeirão Preto (SP), composto por 1.043 unidades do programa "Minha Casa Minha Vida". O conjunto totaliza uma área construída de 46.275,20 m², distribuída em um terreno de 578.486,00 m². Cada unidade tipo I possui 44,16 m² e as tipo II, 50,92 m² (Tabela 1).

Tabela 1. Informações das unidades habitacionais do programa "Minha Casa Minha Vida" na cidade de Ribeirão Preto (SP). Fonte: Santos et al. (2025)

Item	Especificação	Área (m ²)	%
1	Total do terreno a construir	578.486,00	100
2	Casas tipo I - 1.011 unidades		
2.1	Área principal	41,19	
2.2	Área de serviço	2,87	
2.3	Área total da casa	44,16	
2.4	Área total das casas tipo I	44.645,76	7,72
3	Casas tipo II - 32 unidades		
3.1	Área principal	47,10	
3.2	Área de serviço	3,82	
3.3	Área total da casa	50,92	
3.4	Área total das casas tipo II	1.629,44	0,28
4	Área total construída	46.275,20	8,00
5	Total de áreas públicas	392.575,52	67,86
6	Sistema viário	144.517,71	24,98
7	Área institucional	28.925,97	5,00
8	Espaço livre de uso público	219.131,84	37,88
9	Áreas verdes	118.875,60	20,55
10	Sistemas de lazer	100.256,24	17,33

As edificações foram executadas com paredes de concreto moldadas *in loco*, utilizando, em média, 16 m³ de concreto por casa, com uma produção diária de quatro unidades, resultando em 64 m³ de concreto FCK20 por dia (FCK, Resistência Característica à Compressão). O montante total de concreto do empreendimento corresponde a aproximadamente 16.688 m³. Durante a obra, observou-se a geração expressiva de resíduos de concreto oriundos de sobras de caminhões-betoneira, de corpos de prova descartados e da limpeza da bica de descarga. Para o aproveitamento desse material, foi instalada uma usina de reciclagem móvel no local para atender à demanda total da obra, necessitando de, aproximadamente, 261 dias de concretagem.

Coleta e preparação dos Resíduos da Construção Civil (RCC)

O agregado reciclado foi obtido a partir do concreto utilizado na obra e foi britado manualmente. A quantidade de material foi estimada com base em valores da literatura (Tenório, 2007) e validada experimentalmente. Foram coletadas amostras no local para testes de britagem dos RCC, fundamentais para avaliar a composição e qualidade do material.

A Figura 1 ilustra o processo de coleta e preparação dos RCC que foram utilizados para produção do agregado reciclado, destacando resíduos de corpos de prova e de limpeza da bica do caminhão de concreto, onde: resíduos de corpos de prova (Figura 1A), RCC comum classe A (Figura 1B), material descartado após concretagem

(Figura 1C) e concreto usinado restante de concretagem (Figura 1D).



Figura 1. Resíduos da Construção Civil (RCC) coletados na obra. A. Resíduos de corpos de prova; B. RCC comum, classe A; C. Material descartado após a concretagem; D. Concreto usinado, restante da concretagem. Fonte: Santos et al. (2025).

O processo de britagem foi realizado manualmente com martelete elétrico, seguido de peneiramento em peneiras de 4,8 mm, 9,5 mm e 19 mm, resultando em frações finas e graúdas equivalentes às frações 0 e 1 da brita. O material foi armazenado em local coberto por 45 dias antes do uso, conforme as recomendações de Latterza & Machado (1997), o que permitiu a estabilização da umidade e das propriedades físicas.

Traço e mistura do concreto

O cálculo da mistura de concreto considerou análises anteriores (Tenório, 2007) que produziram concretos com agregados reciclados e naturais de densidade reduzida. A mistura foi ajustada para obter um concreto mais leve, seguindo estudos de Hansen & Narud (1983) e Rashwan & Abourizk (1997), que relataram maior absorção de água pelos agregados reciclados. Com base nesses estudos, adicionou-se 20% a mais de água à mistura com agregados reciclados para garantir a trabalhabilidade semelhante à dos agregados naturais.

Neste estudo, amostras de materiais reciclados foram preparadas para a produção de concreto convencional com FCK15, indicado para uso não estrutural (calçadas, pisos e bases de fundação). O traço de referência foi baseado em uma carta-traço da empresa, ajustado às condições locais e apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Traço de referência para o concreto baseado na carta-traço da empresa. Fonte: Santos et al. (2025).

Componente	Quantidade (kg.m ⁻³)	Observação
Cimento CP IV-32	188	conforme carta-traço

Areia fina	548	umidade média 5%
Areia média	500	umidade média 3%
Brita 0 (reciclada)	322	substitui agregado natural equivalente
Brita 1 (reciclada)	752	substitui agregado natural equivalente
Água	196	aumentada em 20% para compensar absorção dos agregados reciclados

Durante a produção, os materiais foram adicionados à betoneira na seguinte ordem: cimento, agregados e água, com tempo de mistura de 3 a 4 minutos, até a obtenção de uma mistura homogênea. Para o concreto de referência, manteve-se o mesmo traço com agregados naturais, o que permitiu a comparação direta entre as amostras.

Ensaios de caracterização dos concretos produzidos

Após a mistura do concreto, foi realizada a avaliação da consistência por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), conforme a NBR 16889/2020, que verifica a consistência e a homogeneidade do concreto, assegurando o atendimento dos critérios de aprovação. O ensaio consistiu no preenchimento do molde tronco-cônico em três camadas, cada uma

adensada com soquete metálico padrão. Após o adensamento e a retirada do molde, mediu-se a diferença entre as alturas inicial e final do concreto, determinando-se o valor de abatimento.

Durante a cura, o concreto adquire resistência e durabilidade por meio da hidratação do cimento. Os corpos de prova cilíndricos foram moldados e curados conforme as normas ABNT NBR 5738:2015 e NBR 5739:2018, com dimensões de 10 cm × 20 cm. Após 28 dias de cura, realizou-se o ensaio de resistência à compressão axial com uma prensa hidráulica da marca Pavilest, com capacidade de 100.000 kgf. Foram moldados seis corpos de prova para cada traço de concreto. As leituras de carga de ruptura foram obtidas diretamente do equipamento e convertidas em resistência à compressão (MPa).

Avaliação de custos com uso de agregados reciclados e naturais

A análise econômica considerou dois cenários de obtenção dos agregados reciclados: (i) britagem manual com martelete elétrico e (ii) britagem em usina de reciclagem. No cenário manual, utilizou-se o equipamento Makita HM1203C, de 10 kg, potência de 1510 W, frequência de 950-1900 impactos/minuto e energia de impacto de 25,5 J, conforme as especificações do fabricante (Brama Materiais, 2024). O custo de mão de obra foi calculado com base no salário mínimo nacional vigente em 2024.

No cenário de usina de reciclagem, os cálculos de consumo energético seguiram a metodologia proposta por Jadovsk (2005), considerando equipamentos como peneiras vibratórias, transportadores de correia e classificadores. O valor da energia elétrica (R\$/kWh) foi obtido junto à Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), com base nas tarifas de janeiro de 2024.

Por fim, os preços de venda dos agregados reciclados foram comparados aos valores de mercado de brita 0, brita 1 e areia natural, obtidos junto a fornecedores da região de Ribeirão Preto (SP). Também foram calculados os custos médios de transporte para cada tipo de material.

Resultados e Discussão

Características dos agregados

Os agregados reciclados utilizados apresentaram granulometria equivalente às frações brita 1 e brita 2 (diâmetros compreendidos entre as aberturas de 4,8 e 25 mm), obtidas por britagem manual com martelete elétrico. Antes da utilização, o material foi armazenado por 45 dias para estabilização da umidade e das propriedades físicas. Esse procedimento segue o protocolo

adotado no Laboratório de Estruturas da EESC (Latterza & Machado, 1997).

O estudo de Van Acker (1996) analisou as propriedades do concreto endurecido com agregados reciclados em diferentes dosagens, evidenciando maior retração e absorção de água devido ao menor módulo de elasticidade desses agregados. A britagem dos resíduos, normalmente realizada por britadores de mandíbula ou de impacto no Brasil, é crucial para a produção de agregados reciclados. No entanto, devido à falta de um britador acessível, os testes foram realizados manualmente com marretas, resultando em material com distribuição granulométrica compatível com os tamanhos das britas 1 e 2. A britagem manual, com um martelete de 10 kg, é um processo exigente que demanda habilidade e esforço físico e é uma alternativa prática para pequenas quantidades de concreto ou em locais onde o uso de maquinário pesado não é viável.

A classificação das britas pelo tamanho dos grãos é fundamental para garantir que o concreto atenda às propriedades desejadas. Tamanhos diferentes de brita influenciam diretamente a resistência, a trabalhabilidade e a durabilidade do concreto, tornando a escolha adequada da granulometria uma etapa muito importante no processo de produção. O processo resultou em frações finas e grossas de agregado, que foram armazenadas por 45 dias antes do uso no concreto reciclado, período suficiente para estabilizar suas propriedades. Estes procedimentos e prazos estão alinhados ao cronograma de testes estabelecido pelo Laboratório do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) (Latterza & Machado, 1997).

A curva granulométrica obtida mostrou distribuição adequada, com 85% do material dentro dos limites da norma, o que indica viabilidade para uso como agregado graúdo reciclado. A absorção de água média foi de 6,5%, valor superior ao dos agregados naturais (em torno de 1,2% a 1,8%), o que justificou o acréscimo de 20% no volume de água do traço, garantindo a trabalhabilidade adequada durante a mistura.

Os resultados obtidos estão de acordo com as observações da literatura. Segundo Van Acker (1996) e Tenório (2007), os agregados reciclados apresentam maior absorção de água e maior variabilidade granulométrica do que os naturais, o que pode reduzir a trabalhabilidade e a resistência mecânica do concreto.

Tenório (2007) observa, em seu estudo, que o agregado miúdo reciclado absorve mais água devido à presença de materiais finos e poeirentos, o que aumenta a demanda por água e reduz a

resistência do concreto. Essas características são especialmente evidentes em concretos de alta resistência, em que a relação água/cimento é baixa. A porosidade do agregado reciclado, em particular a do graúdo, destaca-se nesse contexto. A absorção de água, propriedade essencial à durabilidade das estruturas, deve ser cuidadosamente avaliada, especialmente em concretos reciclados.

Desempenho do concreto reciclado

O ensaio de *slump* foi realizado para avaliar a plasticidade do concreto e verificar sua adequação ao uso em construções. Os resultados do

ensaio de consistência, medido pelo abatimento do tronco de cone, indicaram que os agregados reciclados afetaram significativamente a consistência do concreto devido à elevada absorção de água por eles.

A Figura 2 mostra o modo de armazenamento do concreto fresco em corpos de prova, procedimento essencial para testes de compressão posteriores. O concreto endurece durante a cura, ganhando resistência, e esse processo deve ser cuidadosamente controlado para garantir que atinja sua resistência máxima.



Figura 2. Corpo de prova, moldado conforme as normas NBR 5738 (ABNT, 2015) e NBR 5739 (ABNT, 2018), separado para teste de compressão. Fonte: Santos et al. (2025).

Visualmente, a mistura com RCC apresentou textura mais heterogênea, mantendo boa coesão e ausência de segregação, o que evidencia potencial de aplicação para fins não estruturais, como pisos e calçadas.

O estudo demonstrou que é possível obter bons resultados com agregados reciclados, especialmente em concretos magros, mais indicados para fins não estruturais. O ensaio de abatimento do tronco de cone apresentou *Slump* médio de 160 mm, indicando boa trabalhabilidade. O concreto atingiu resistência característica (F_{ck}) de $14,2 \pm 1,8$ MPa aos 28 dias. Esses valores são compatíveis com concretos de uso não estrutural, como pisos e calçadas. A análise da literatura indica que o impacto do agregado grosso na resistência do concreto é menos significativo, sendo a permeabilidade da matriz e as propriedades da zona de transição os fatores mais críticos.

Embora o estudo não tenha incluído um grupo controle experimental com agregados naturais, a comparação indireta, com dados do SINAPI (2024) e ensaios de referência (Faria & Fachin, 2009), mostra que concretos de F_{ck} 15 MPa produzidos com agregados naturais apresentam resistências semelhantes (14-18 MPa). Assim, o desempenho mecânico obtido com agregados reciclados mostra-se tecnicamente aceitável nessa faixa.

Esses resultados reforçam que, quando os resíduos são provenientes de concretos de boa qualidade, a reutilização parcial do agregado graúdo reciclado pode manter a resistência dentro dos limites dos concretos convencionais de baixa resistência.

Viabilidade econômica

A avaliação econômica considerou três alternativas de fornecimento de agregados: 1. Britagem manual, realizada no local da obra; 2. Reciclagem em usina industrial; 3. Agregados naturais, provenientes de pedreiras comerciais.

A potência do martelete estudado é de 1510 W, resultando em consumo de 1,51 kWh e custo de R\$ 0,93 por hora, calculado com base na tarifa vigente de R\$ 0,62 por kWh na região estudada. Para um salário mínimo de R\$ 1.412,00 (com base em 2024), o custo horário é de R\$ 8,02. No caso da britagem manual, um trabalhador pode quebrar 100 kg de agregado reciclado por hora, com um custo de R\$ 8,95 por 100 kg processados, sendo mais demorada, menos precisa e mais sujeita a inconsistências. O processamento industrial é mais eficiente, consistente e seguro, com alta capacidade de produção e menor esforço humano. O custo da britagem manual foi estimado em R\$ 89,50 por m³.

Com base em valores típicos da região, o custo estimado é de R\$ 24,00 por m³, considerando a reciclagem em usinas. O agregado natural custa R\$ 69,63 por m³, segundo a tabela da SINAPI (2024). Esses dados indicam que, embora o

processamento industrial seja mais eficiente, para obras residenciais de baixo custo e de pequenos volumes, a britagem manual pode ser economicamente viável, enquanto a usina é mais adequada para grandes indústrias.

O estudo evidencia a importância de definir a estrutura da obra antes de decidir sobre o processo de reutilização e reciclagem de materiais agregados. A prática de reciclar agregados não só contribui para a redução do consumo de recursos naturais, mas também pode ser uma alternativa econômica viável. A análise de custo-benefício realizada por Faria & Fachin (2009) sugere que o uso de agregados reciclados pode gerar uma economia significativa. A Tabela 3 compara os valores de mercado de agregados naturais, obtidos com as principais empresas da região de Ribeirão Preto, com os produtos comercializados pela usina de reciclagem analisada, destacando que os materiais reciclados apresentam preços mais baixos. A brita 0 da usina custa R\$ 18,00 a menos, a brita 1 é R\$ 9,00 mais barata, e a areia tem um desconto de R\$ 2,00, em comparação com uma pedreira convencional. No entanto, a utilização de agregados reciclados manualmente mostrou-se economicamente inviável para a empresa estudada.

Tabela 3. Preços médios de agregados naturais e reciclados na região de Ribeirão Preto (2024). Fonte: Santos et al. (2025).

Empresas	Produto	Valor por m ³ (R\$)
Pedreira A	Brita 0	43,00
	Brita 1	35,00
	Areia fina	50,00
Pedreira B	Brita 0	42,00
	Brita 1	33,00
	Areia	-
Pedreira C	Brita 0	43,00
	Brita 1	35,00
	Areia	26,00
Pedreira D	Brita 0	61,00
	Brita 1	51,00
	Areia	42,00
Usina estudada (Agregados)	Brita 0	24,00
	Brita 1	24,00
	Rachão	24,00
	Areia	24,00

A Tabela 4 apresenta uma análise detalhada dos custos associados à produção de concreto com agregados naturais e reciclados. É possível obter uma visão abrangente dos vários

componentes de custo envolvidos, o que permite uma compreensão clara do investimento financeiro necessário para a produção de concreto com agregados naturais e reciclados.

Tabela 4. Custo de 1 m³ de concreto FCK15 (Resistência Característica à Compressão) com agregado natural e reciclado. Fonte: Santos et al. (2025).

Material	Quantidade	Agregado natural		Agregado reciclado	
		Valor unitário	Total	Valor unitário	Total

	(kg)		(R\$)		
Cimento Portland pozolânico CP IV-32 (kg)	188	0,58	109,04	0,58	109,04
Areia fina - posto jazida/fornecedor (m ³)	548	0,08	41,10	0,08	41,10
Areia média (m ³)	500	0,08	37,50	0,08	37,50
Pedra britada nº 0 ou pedrisco (4,8 a 9,5 mm) (m ³)	322	0,08	25,76	0,06	19,32
Pedra britada nº1 (9,5 a 19 mm) (m ³)	752	0,07	51,89	0,05	37,60
Água (m ³)	196	0,02	3,92	0,02	3,92
Total			269,00		248,00

O concreto reciclado produzido neste estudo apresentou custo total de R\$ 248,00 por m³, enquanto o concreto com agregados naturais atingiu R\$ 269,00 por m³, o que representa uma economia de 7,8%. Considerando a área total de calçadas do empreendimento (219.131,84 m², com 5 cm de espessura), a economia potencial estimada foi de R\$ 230.000,00.

Apesar da limitação operacional da britagem manual, o resultado confirma o potencial econômico da reutilização de RCC em empreendimentos habitacionais, especialmente quando há volume suficiente de resíduos para justificar o investimento no processamento mecânico.

Considerações técnicas e limitações do estudo

O desempenho do concreto reciclado demonstrou viabilidade técnica e econômica, porém, algumas limitações devem ser consideradas: 1. A escala experimental foi reduzida (0,05 m³), o que não representa condições industriais plenas; 2. O processo manual de britagem introduz variabilidade granulométrica; 3. Não foi avaliado o impacto ambiental comparativo (como a pegada de carbono ou o ciclo de vida), o que poderia fortalecer a análise de sustentabilidade.

Mesmo com essas limitações, os resultados são representativos e demonstram o potencial da reciclagem *in loco* como prática de gestão sustentável dos resíduos da construção civil.

Conclusão

A viabilidade técnica e econômica da utilização de resíduos da construção civil como agregados reciclados em concretos produzidos *in loco* foi comprovada pela substituição parcial dos agregados naturais por agregados reciclados de concreto, o que é tecnicamente viável para aplicações não estruturais, como calçadas, pisos e pavimentações.

A reciclagem *in loco* é uma alternativa financeiramente vantajosa, sobretudo em empreendimentos habitacionais de grande escala, nos quais o volume de resíduos e a logística interna favorecem a autossuficiência no reaproveitamento de materiais.

A reutilização de resíduos de concreto contribui para a redução do consumo de recursos naturais, a diminuição do volume de resíduos destinados a aterros e a mitigação dos impactos associados à extração mineral e ao transporte de agregados.

A reciclagem de resíduos de concreto como agregados reciclados é tecnicamente aplicável, economicamente viável e ambientalmente recomendável para concretos de uso não estrutural.

Recomenda-se, para estudos futuros, a ampliação dos ensaios em escala industrial, a avaliação do desempenho a longo prazo e a análise do ciclo de vida (ACV) dos materiais reciclados, de modo a consolidar parâmetros normativos que incentivem o uso desses agregados no contexto da construção civil brasileira.

Referências

- Abrecon. 2022. Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. 102p. <https://doi.org/10.11606/9786589190103>
- ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em 22 set. 2025.
- ABNT NBR 5738. 2015. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Segunda edição. Disponível em:

- <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1938/abnt-nbr5738-concreto-procedimento-para-moldagem-e-cura-de-corpos-de-prova>
- ABNT NBR 5739. 2018. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Terceira edição. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1939/abnt-nbr5739-concreto-ensaio-de-compressao-de-corpos-de-prova-cilindricos>
- ABNT NBR 7211. 2022. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211. Agregados para Concreto - Requisitos. Quarta edição. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/238/abnt-nbr7211-agregados-para-concreto-requisitos>
- ABNT NBR 12655. 2022. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Quarta edição. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/6336/abnt-nbr12655-concreto-de-cimento-portland-preparo-controle-recebimento-e-aceitacao-procedimento>
- ABNT NBR 15114. 2004. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15114. Resíduos Sólidos da Construção Civil - Áreas de Reciclagem - Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Primeira edição. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/23698/abnt-nbr15114-residuos-solidos-da-construcao-civil-areas-de-reciclagem-diretrizes-para-projeto-implantacao-e-operacao>
- ABNT NBR 16889. 2020. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16889. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Primeira edição. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12956/abnt-nbr16889-concreto-determinacao-da-consistencia-pelo-abatimento-do-tronco-de-cone>
- Brama Materiais. 2024. Martelo Demolidor 1510W 220V Sdsmax Hm1213C Makita. Disponível em: <https://www.bramamateriais.com.br/martelo-rompedor-1510w-220v-sdsmax-hm1213c-makita>. Acesso em: 29/06/2024.
- Brasil. 2010. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l112305.htm. Acesso em: 26/06/2024.
- Brasil. 2024. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Reciclagem. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/siderurgia-sustentavel/item/7656-reciclagem>. Acesso em: 20/06/2024.
- Chaves, A. P. et al. 2006. Tecnologia Mineral e suas aplicações na reciclagem de resíduos de construção e demolição. In: 61º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Anais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2002. Resolução Conama nº 306, de 5 de julho de 2002. Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais. Diário Oficial da União, Brasília, n. 138, pp. 75-76.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2002. Resolução Conama 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, n. 136, pp. 95-96.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2004. Resolução Conama nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Diário Oficial da União, Brasília, n. 158, Seção 1, pp. 70.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2011. Resolução Conama nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da União, Brasília, n. 99, pp. 123.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2012. Resolução Conama nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º e 11º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, seção 1, pp. 95-96.
- Faria, G. F.; Fachin, T. P. 2009. Avaliação da viabilidade econômica da reciclagem dos resíduos da construção civil: Goiânia. 57p.

- Grigoli, A. S. 2011. Entulho em canteiro de obra utilizado como material de construção: uma alternativa inadiável. Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil-Materiais 82 Reciclados e suas Aplicações, 4. São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto.
- Hansen, T. C.; Narud, H. 1983. Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate. *Concrete International*, 5, 79-83.
- Jadovski, I. 2005. Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia), Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 180p.
- Latterza, L. M.; Machado Jr., E. F. 1997. Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição. Um novo material para fabricação de painéis leves de vedação. In: Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, 28. São Carlos, 5, pp. 1967-1975.
- Leal, U. 2001. Sobras que valem uma obra. *Revista Techne*, 10, (55), 10-14.
- Mattos, B. 2014. Estudo do Reuso, reciclagem e destinação final dos resíduos da construção civil na cidade do Rio de Janeiro. Bernardo Bandeira de Mello Mattos-Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica. 74p.
- Miranda, L. F. R.; Angulo, S. C.; Careli, E. D. 2009. Reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. *Ambiente Construído*, 9, (1), 57-71.
- Miranda, L. F. R.; Torres, L.; Vogt, V.; Brocardo, F. L. M.; Bartoli, H. 2016. Panorama atual do setor de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- Oliveira, T. Y. M. 2015. Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 114p.
- Perina, J. M.; Trannin, I. C. B. 2019. Proposta para aproveitamento de resíduos da construção civil gerados em canteiros de obras. *Revista Online Sodebras*, 14, 192-197.
- Rashwan, M.S.; Abourizk, S. 1997. The properties of recycled concrete, *Concrete International*, 19, (7), 56-60.
- Sáez, P. V.; Merino, M. del T.; Porras-Amores, C.; González, A. S. 2014. Assessing the accumulation of construction waste generation during residential building construction works. *Resources, Conservation and Recycling*. Amsterdam, 93, 67-74.
- Sacho, S. D. 2015 Avaliação do potencial de reaproveitamento dos resíduos Classe A da construção civil em Goiânia. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia ambiental e sanitária), Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 46p.
- Santos, A.; Pinto, T. C. N. 2008. Contaminação do ar em usinas de reciclagem brasileiras e aspectos de saúde. In: RCD como material de construção. Apresentação: USP, IPT. São Paulo. 30p.
- Schwing Stetter. Equipamentos para Concreto. 2018. Disponível em: <https://www.schwingstetter.com.br/>. Acesso em 22/06/2024.
- SINAPI. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. 2024. Caixa Econômica Federal. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/>. Acesso em: 25/06/2024.
- Souza, C. S. et al. 2021. Viabilidade do concreto moldado in loco nas obras de habitação de interesse social. Monografia - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Multivix, São Mateus. 23p.
- Tenório, J. J. L. 2007. Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção demolição visando aplicações estruturais. Maceió. 157p.
- Van Acker, A. 1996. Recycling of concrete at precast concrete plant. BIBM. Paris. pp. 55-67.