

SUBMETIDO 09/06/2021

APROVADO 10/08/2021

PUBLICADO ON-LINE 22/08/2021

PUBLICADO 30/06/2023

EDITORES ASSOCIADOS

Mariana Amorim Fraga e  
Hugo Plínio de Andrade Alves

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6033>

ARTIGO ORIGINAL

## Agregado reciclado, uma fonte sustentável de matéria-prima: uma revisão

 Danillo de Almeida e Silva <sup>[1]\*</sup>

 Carlos Eduardo Luna de Melo <sup>[2]</sup>

[1] [arq.danillo@gmail.com](mailto:arq.danillo@gmail.com)

[2] [carlosluna@unb.br](mailto:carlosluna@unb.br)

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo,  
Universidade de Brasília (UnB), Brasil

**RESUMO:** O presente artigo consiste em uma revisão bibliográfica que busca referenciar o uso do resíduo de construção e demolição (RCD) como uma viável e crescente alternativa, tornando-se uma solução para a grande demanda de recursos naturais utilizados na construção civil. Os critérios elaborados para este estudo tiveram como foco o uso do agregado reciclado e seu teor de substituição no concreto, juntamente com os mecanismos relacionados à sua qualidade. A reciclagem do RCD e o uso em concreto é objeto de pesquisas em vários países, visando uma destinação sustentável para o resíduo gerado na construção civil. Essas pesquisas têm apresentado resultados satisfatórios no uso do agregado reciclado para concreto estrutural e não estrutural, e os resultados apresentam uma possível faixa de substituição do agregado natural. Dessa forma, o uso do RCD como material alternativo para produção de concretos e materiais construtivos vem apresentando inúmeros benefícios para a economia, meio ambiente e sustentabilidade da construção civil. Essa tecnologia vem criando produtos a partir de resíduos da construção, evitando a extração de matérias-primas e preservando o meio ambiente.

**Palavras-chave:** agregado reciclado; concreto; resíduo de construção e demolição; sustentabilidade.

## *Recycled aggregate, a sustainable source of raw material: a review*

**ABSTRACT:** This article is a bibliographic review that seeks to reference the use of construction and demolition waste (CDW) as a viable and growing alternative, as a solution to the great demand for natural resources used in civil construction. The criteria developed for this study focused on the use of recycled aggregate and its substitution content in concrete, together with the mechanisms related to its quality. The recycling of CDW and its use in concrete is the subject of research in several countries, as a sustainable destination for the waste generated in construction. These research have shown satisfactory results in the use of recycled aggregate for structural and non-structural concrete, and their results show a possible range of substitution for the natural aggregate. Thus, the

\*Autor para correspondência.

*use of CDW as an alternative material for the production of concrete and construction materials has been presenting numerous benefits for the economy, the environment and for the sustainability of civil construction, creating products from construction residues, preventing the extraction of raw materials and preserving the environment.*

**Keywords:** recycled aggregate; concrete; construction and demolition waste; sustainability.

## 1 Introdução

A indústria da construção civil é a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente e demanda uma notável quantidade de matéria-prima, tais como argila, areia, cascalho, cimento e outros que, usualmente, são obtidos por meio da extração a céu aberto ou por minas. Essas ações modificam a paisagem e o meio ambiente, gerando uma grande quantidade de impactos ambientais desde a extração de matéria-prima, seu uso e descarte. Segundo Silva *et al.* (2015), cerca de 30% de todo material empregado na construção civil é descartado como resíduo.

Com relação à geração de resíduo, no Brasil, os estudos de Silva *et al.* (2015) e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012) indicam valores da ordem de 230 kg<sup>-1</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano a 760 kg<sup>-1</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano. A taxa de geração per capita diminuiu de 1,071 kg<sup>-1</sup>.hab<sup>-1</sup>.dia, em 2015, para 1,040 kg<sup>-1</sup>.hab<sup>-1</sup>.dia, em 2016 (ABRELPE, 2017).

Grandes quantidades de resíduo de construção e demolição (RCD) causam diversos problemas sociais, ambientais e econômicos. Portanto, o uso do RCD como matéria-prima secundária para produção de concreto e outros materiais é uma das maneiras mais benéficas de sustentabilidade para construção civil e para o meio ambiente tornarem-se sustentáveis (MENG *et al.*, 2017; RIBEIRO; MENDES, 2018), minimizando diversos impactos ambientais como aquecimento global, toxicidade humana, acidificação e eutrofização, entre outros (ROSADO; PENTEADO, 2019).

Pesquisas vêm sendo realizadas no meio científico com o objetivo de transformar o resíduo de concreto e de cerâmica vermelha, proveniente de tijolos e blocos cerâmicos, em uma fonte de matéria-prima alternativa para uso em concreto, como substituição dos agregados graúdo e miúdo (SILVA; MELO, 2021).

A crescente geração de RCD tem produzido grande quantidade de matéria-prima passível de beneficiamento para uso na própria indústria da construção civil. A reciclagem do RCD tem o objetivo de preservar o meio ambiente e reduzir os impactos ambientais, suprimindo a demanda por novos materiais e dando destinação sustentável aos resíduos gerados, que seriam descartados em aterros ou despejados de forma irregular na margem de rios e córregos (KLEIN; DIAS, 2017; SILVA; MELO, 2021).

Cunha, Delgado Junior e Lacerda (2016) e Santana *et al.* (2011) encontraram resultados satisfatórios na utilização de concreto reciclado na construção, com obtenção de custos benéficos. Hoje é possível planejar e executar concretos para bases de pavimentos, contrapiso, fundações residenciais com  $f_{ck} < 20$  MPa e produzir artefatos pré-moldados em concreto, tubos, guias de meio fio e blocos (BASTOS; CRUZ; WOELFFEL, 2016).

A presente pesquisa tem como objetivo dar ênfase aos estudos científicos sobre o uso do agregado reciclado em concreto, os avanços tecnológicos relacionados à qualidade do concreto proporcionada pelo uso do agregado reciclado e uso sustentável dos resíduos gerados pela construção. Tendo em mente a dimensão da cadeia produtiva

que compreende a indústria da construção civil, fica claro que não é possível alcançar o desenvolvimento sustentável sem a sustentabilidade dos materiais e componentes de construção (BRASILEIRO; MATOS, 2015; SILVA; MELO, 2020a).

O conceito de desenvolvimento sustentável caminha a passos lentos no âmbito da construção civil. Esse setor, caracterizado por consumir e descartar grandes volumes de resíduos e provocar inúmeros impactos ambientais, vem assumindo práticas que visam à concepção de uma construção mais sustentável, que contribua para o meio ambiente. Tais práticas ocorrem através de ferramentas como o reuso de água nos canteiros, a utilização de materiais ecoeficientes, a redução do consumo de energias e o reaproveitamento de resíduos da construção (CORDEIRO *et al.*, 2017).

A construção civil, atividade com enorme impacto, gera grande quantidade de resíduos e, ao mesmo tempo, de matéria-prima. O tratamento desses resíduos para a utilização como matéria-prima alternativa na construção civil é possível. Além disso, muitos estudos têm demonstrado que o uso de resíduos como material alternativo para produção de concretos mais ecológicos, além de contribuir para a destinação adequada de tais resíduos, permite que toneladas de material natural deixem de ser extraídas da natureza. O homem gera resíduos em todas as suas atividades (PASCHOALIN FILHO; DIAS; CORTES, 2014), e dar um destino sustentável ou adequado para estes é um dos problemas do desenvolvimento sustentável.

## **2. Resíduos da construção civil**

As origens do RCD advêm de várias fontes da construção civil: estruturas de concreto, argamassas, elementos de vedação e revestimentos, podendo ser compreendidos em determinadas fases de uma obra ou de diferentes componentes construtivos.

Hoje, a necessidade de desenvolver concretos com o subproduto da construção é uma alternativa viável por razões ambientais e econômicas. Uma revisão de pesquisas anteriores nos mostra que os resíduos industriais e outros subprodutos de diversos segmentos foram adicionados na fabricação de cimentos, como aglomerantes hidráulicos, reduzindo a quantidade de produção do clínquer, que é responsável por inúmeros impactos ambientais (BATTAGIN, 2011). Hoje, a incorporação do resíduo da construção como agregado no concreto estrutural e não estrutural não é uma alternativa, e sim um objetivo para a sustentabilidade da construção civil e do meio ambiente (SILVA; MELO, 2021).

### **2.1 Resíduos da construção e demolição como matéria-prima**

Inúmeras pesquisas vêm abordando alternativas sustentáveis para a utilização dos RCDs como agregados reciclados em obras de pavimentação, na produção de argamassas, blocos e artefatos de concreto, e também sua aplicação em sistemas de drenagem de obras de contenção e não estruturais.

O uso do RCD como agregado para produção de blocos estruturais, blocos de vedação, pisos permeáveis, pavimentação e em concretos sem fins estruturais é uma realidade promissora (FERNANDES; MELO, 2020) e está sendo difundido e implementado em vários países. De acordo com estudos realizados por Mesquita *et al.* (2015), a reciclagem na construção civil pode gerar grandes benefícios, com reflexo direto na redução do consumo de recursos naturais não renováveis e redução de impactos ambientais.

A forma mais difundida de tratamento do RCD consiste na segregação da fração mineral, que é triturada até a granulometria desejada e utilizada na própria indústria da construção civil (MESQUITA *et al.*, 2015). Com esse objetivo, novos estudos têm sido implementados na reciclagem do resíduo. Além de garantir a destinação adequada desses resíduos, evitando a poluição do meio natural, também poderá trazer razoável economia para as obras de engenharia.

Vários estudos examinaram o uso de resíduos de concretos e resíduos cerâmicos advindos da construção como fontes de matéria-prima secundária para uso como agregados graúdos para concreto (ANGULO; FIGUEIREDO, 2011; GOMES; BRITO, 2007; HANSEN, 1992; SILVA; MELO, 2020a) e também o uso como agregados miúdos no concreto (ALIABDO; ABD-ELMOATY; HASSAN, 2014; STROHER *et al.*, 2017).

Seguindo a mesma linha de pesquisa, estudos foram realizados utilizando apenas os resíduos de concreto reciclado como agregado graúdo para produção de novos concretos (ANGULO; JOHN, 2002; GOMES; BRITO, 2007; HANSEN, 1986; NAGATAKI *et al.*, 2004; POON; SHUI; LAM, 2004; TAM; GAO; TAM, 2005) e, por último, mas não menos importante, utilizaram-se resíduos cerâmicos como agregados graúdos para concreto (CABRAL *et al.*, 2009; CAVALLINE; WEGGEL, 2013; HANSEN, 1992; KHALAF, 2006; SENTHAMARAI; DEVADAS, 2005; SILVA; MELO, 2021).

Nesse contexto, pesquisas têm sido realizadas sobre a alternativa de aproveitamento de resíduo de cerâmica vermelha, proveniente de tijolos, blocos cerâmicos e revestimentos, em compósito de cimento. Esse tema tem sido o objeto de alguns trabalhos, como o desenvolvido por Senthamarai e Devadas (2005), no qual foram comparadas propriedades como resistência à compressão, tração por compressão diametral, resistência à flexão, módulo de elasticidade, absorção de água, retração, porosidade aparente e variações dimensionais por oscilação de umidade. As comparações foram feitas em concretos com agregados de resíduos de cerâmica vermelha e concretos com agregados naturais.

### **3 Avanço tecnológico do concreto e o resíduo da construção**

Por meio de estudos realizados por Hansen (1986) e Xiao *et al.* (2012) descobriu-se que, em geral, o procedimento de dosagem de concretos com agregados reciclados não difere muito daquele para o concreto convencional. No entanto, é necessária a adição de mais água para atingir uma trabalhabilidade adequada, devido à alta absorção de água do agregado reciclado.

Estudos desenvolvidos por Tam, Gao e Tam (2005) propuseram uma abordagem de mistura dos materiais em dois estágios, com objetivo de melhorar a resistência à compressão do concreto com agregados reciclados e diminuir a variabilidade de resistência. Outros pesquisadores, em países como Brasil e Espanha (CORDEIRO *et al.*, 2017; ETXEBERRIA *et al.*, 2007), também descobriram que os agregados reciclados usados em condições úmidas, mas não saturados, podem controlar as propriedades frescas do concreto e a relação efetiva entre água e cimento.

A propriedade preponderante do agregado reciclado é a sua elevada absorção de água e, conseqüentemente, o enfraquecimento das propriedades mecânicas. A zona de transição, camada microscópica entre agregado e pasta de cimento, é o elo fraco no concreto convencional (SILVA; MELO, 2021). Já os concretos reciclados apresentam duas zonas de transição (GOMES; BRITO, 2009; TAM; GAO; TAM, 2005): a primeira entre agregado e pasta de cimento e a segunda entre a pasta aderida ao agregado reciclado e a nova pasta de cimento.

Em estudos realizados por Gomes e Brito (2009) e Tam, Gao e Tam (2005), a correta hidratação do agregado reciclado pode ser realizada em duas etapas. A primeira etapa ocorre com a mistura da água e é responsável por envolver o agregado, possibilitando a sucção da pasta hidratada aos poros e microfissuras no agregado reciclado, e também é responsável por realizar a cristalização de sua microestrutura, refinando a microestrutura do concreto, diminuindo a porosidade do agregado e do concreto como um todo (SILVA; MELO, 2020b). A segunda adição de água serve para hidratar o resto do cimento necessário para a composição do concreto, diminuindo a porosidade da argamassa residual ao agregado reciclado, elemento influenciador na porosidade do concreto reciclado. A argamassa aderida em agregados reciclados (argamassa velha) são restos de argamassa que, no processo de britagem, não foi possível descolar do agregado reciclado (SILVA; MELO, 2020b).

Estudos realizados por Cordeiro *et al.* (2017) já apresentam um processo de mistura em três etapas. A primeira etapa tem como objetivo umidificar o agregado graúdo reciclado. A segunda, tratar a superfície do agregado com o cimento, tal qual a proposta de Gomes e Brito (2009), Tam e Tam (2008) e Tam, Gao e Tam (2005), com objetivo de garantir que o agregado reciclado absorva a água da mistura que irá hidratar o cimento. Já na terceira, na qual é adicionado o restante dos materiais necessários para a produção do concreto, está a última porção de água, buscando homogeneizar a mistura até atingir a consistência desejada, a tão almejada trabalhabilidade do concreto (SILVA; MELO, 2020a).

A indústria da construção civil vem tentando aperfeiçoar as propriedades do agregado reciclado para concreto. Essas propriedades tendem a exercer efeito no desempenho do concreto. Pesquisas sobre o uso de agregados reciclados são relevantes devido à influência destes nas características do concreto, tais como trabalhabilidade, economia e resistência mecânica (SILVA; MELO, 2020b).

Silva, Brito e Dhir (2014) fizeram uma análise estatística dos dados coletados da literatura e relataram a possibilidade de desenvolver um modelo para prever a diminuição da resistência do concreto contendo agregado reciclado para diferentes níveis de substituição, indicando que a resistência à compressão tende a diminuir à medida que a quantidade de agregado reciclado aumenta.

### 3.1 Problemática do uso do RCD como agregado para concreto

Estudos realizados por Hansen (1986) relatam que o “elo fraco” do concreto utilizando agregado reciclado é a argamassa aderida (argamassa velha), que tem forte efeito sobre sua resistência. Estudos realizados em concretos produzidos com resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) apresentam uma perda de trabalhabilidade e aumento do consumo de cimento devido à alta absorção de água desse material (MALEŠEV; RADONJANIN; MARINKOVIĆ, 2010). Essa característica ocorre em função do aumento da relação água/cimento, redução da massa específica, permeabilidade e composição dos agregados reciclados (FROTTÉ *et al.*, 2017; TENÓRIO *et al.*, 2012).

Os fatores influentes nas propriedades dos concretos produzidos com agregados reciclados de concretos (ARC) e agregados reciclados mistos (ARM) – estes provenientes do resíduo de construção e demolição (RCD) – estão intimamente ligados às características físico-mecânicas do agregado, como massa específica, massa unitária, absorção, porosidade, forma, granulometria e a quantidade de argamassa aderida ao agregado (AD).

A linha de estudos realizados por Nagataki *et al.* (2004) mostrou que o uso de três estágios de britagem levou a uma redução da absorção de água do concreto com agregado graúdo britado, em torno de 35% a 50%, comparando com concretos produzidos com

agregados britados em primeiro e segundo estágios de britagem (SILVA; MELO, 2020b). Dessa forma, um avanço tecnológico é alcançado por pesquisas científicas, demonstrando melhorias alcançadas na qualidade dos concretos reciclados.

#### **4 Agregado reciclado para concreto**

Segundo estudos realizados por Cordeiro *et al.* (2017), Gomes e Brito (2009) e Leite (2001), o agregado reciclado apresenta características inerentes que afetam o desempenho dos concretos com ele produzidos. O formato irregular do agregado graúdo britado, a menor massa específica e a maior porosidade provocada pela argamassa residual influenciam diretamente nas propriedades dos concretos, tanto no estado fresco quanto no endurecido (SILVA; GEYER; PANTOJA, 2020).

Nesse sentido, diversos autores, como Cordeiro *et al.* (2017), Gomes e Brito (2009), Nagataki *et al.* (2004) e Leite (2001), vêm desenvolvendo estudos sobre o uso dos agregados reciclados em concretos estruturais e não estruturais, na tentativa de suprir ou mitigar os efeitos negativos decorrentes das características desse material, utilizando para isso tratamentos mecânicos, térmicos e químicos, que demandam muitas vezes alto custo e tempo, mas que levam a resultados satisfatórios.

Algumas pesquisas procuram otimizar as características dos agregados reciclados de concreto, a partir da incorporação de finos reativos e não reativos, com o objetivo de envolver a superfície desse material com um cimento ou uma adição que preencha seus vazios e refine seus poros (TAM; TAM, 2008; TAM; GAO; TAM, 2005). Nessa vertente, almejando o desempenho do concreto com agregado reciclado, acredita-se que resultados satisfatórios possam ser atingidos relacionando-se, entre outros fatores, a qualidade do concreto produzido com o processo de britagem dos agregados reciclados (SILVA; MELO, 2020b).

Ao executar concretos com RCD, deve-se levar em conta suas peculiaridades, pois são materiais heterogêneos, porosos e de baixa resistência ao desgaste, variando a cada etapa da obra. Além disso, os concretos com resíduos apresentam peculiaridades em virtude de suas condições de mistura (CORDEIRO *et al.*, 2017).

As variáveis norteadoras da qualidade do concreto produzido com RCD são inerentes às propriedades físico-mecânicas dos agregados utilizados em sua produção. Contudo, essas variáveis tendem a ser controladas ou mitigadas conforme apontam estudos (AL-BAYATI *et al.*, 2016; GOMES; BRITO, 2009; LI *et al.*, 2017; PURUSHOTHAMAN; AMIRTHAVALLI; KARAN, 2015). Dessa forma, um maior controle tecnológico associado ao RCD pode proporcionar melhorias ao concreto reciclado com ele produzido, fomentando seu uso de forma mais ampla na construção civil.

#### **5 Concreto com resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R)**

Estudos desenvolvidos por Carneiro (2005) comprovam a viabilidade da utilização de RCD-R na produção de blocos para alvenaria sem função estrutural. Nos testes realizados, tanto os blocos produzidos com 30% de substituição do agregado natural pelo RCD-R quanto aqueles com 60% de substituição apresentaram resistência à compressão simples superior ao estabelecido pela NBR 6136 (ABNT, 2014).

Nos estudos realizados por Aliabdo, Abd-Elmoaty e Hassan (2014), com uso de RCD-R proveniente de material cerâmico “tijolo de cerâmica vermelha” como agregado

gráudo e miúdo para adição em concretos, foram realizadas as substituições de 50% e de 100% dos agregados para produção de blocos de vedação. As resistências à compressão dos blocos alcançaram resultados satisfatórios de 5,2 MPa e 2,8 Mpa. Percebe-se que o aumento da substituição provoca uma baixa resistência no concreto reciclado.

Wong *et al.* (2018) relataram que a resistência do concreto poderia ser melhorada pela substituição parcial do cimento pela argila calcinada obtida pela queima de tijolos cerâmicos, que é feita após britagem e moagem dos tijolos. Pesquisas demonstram que a argila calcinada melhora o potencial de atividade pozolânica (BARBALHO; SILVA; RÊGO, 2020) e ocasiona um efeito de preenchimento nos poros do concreto.

Sabe-se que o uso de resíduos de tijolos como agregados pode causar uma queda nas propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto. Encontrar uma quantidade ideal de material cerâmico possível de ser incorporada ao concreto, garantindo que o concreto resultante atenda aos requisitos necessários (SILVA; MELO, 2021), é o objetivo principal para muitos pesquisadores.

Estudos realizados por Pacheco-Torgal e Jalali (2010) apresentaram resultados promissores sobre a utilização de argila calcinada como substituição parcial do clínquer. Na pesquisa, os autores investigaram a substituição parcial de cimento por argila calcinada. Partículas com tamanho de partícula  $< 75 \mu\text{m}$  foram selecionadas para a substituição parcial do clínquer. Os resultados mostraram que o concreto com 20% de substituição de cimento, embora tenha uma pequena perda de resistência, apresentou uma maior durabilidade.

Pesquisas desenvolvidas por Olofinnade *et al.* (2016), Toledo Filho *et al.* (2007) e O'Farrel, Sabir e Wild (2006) descobriram que a substituição de até 10% a 20% de clínquer por argila calcinada no concreto pode resultar em resistências compatíveis com concretos de referência. A mistura do clínquer e argila calcinada promoveu a formação de géis CSH como resultado de uma possível reação pozolânica (NACERI; HAMINA, 2009). Consequentemente, uma microestrutura mais compacta no concreto pode ser formada.

Pesquisadores como Lin *et al.* (2010) também revelaram que os géis secundários de CSH formados tiveram um certo efeito de refinamento de poros, como observado a partir da relação gel-espaçamento, semelhante ao que ocorre com a pasta de cimento misturada com argila calcinada. Isso elevou a resistência à compressão dos concretos produzidos no estudo.

Além disso, devido à reatividade pozolânica da argila calcinada, concretos e argamassas contendo o teor ideal de 20% de substituição do clínquer geralmente exibem maior ganho de resistência em períodos prolongados, em comparação aos concretos referência (O'FARRELL; SABIR; WILD, 2006).

Estudos foram realizados por Toledo Filho *et al.* (2007) sobre o potencial uso de argila calcinada como substituição parcial do clínquer na produção do cimento Portland para produção de argamassas e concretos, nas proporções de 10%, 20%, 30% e 40% de clínquer nos concretos submetidos aos ensaios mecânicos dos corpos de prova, com análise da porosidade e testes de durabilidade. Os resultados indicaram que as porcentagens ótimas de substituição estão entre 10% e 20%. Esse percentual de substituição pode ser realizado sem que fiquem comprometidas as propriedades do concreto.

Essas pesquisas relatam que o concreto reciclado possui características similares ao concreto convencional. Contudo, o primeiro apresenta alta porosidade, fator influente na resistência mecânica e na durabilidade do concreto.

**Tabela 1 ▼**

Porcentagem de substituição de agregados graúdos e miúdos reciclados usados em vários estudos por diferentes pesquisadores (adaptado de Verian, Ashraf e Cao, 2018).

Fonte: adaptado de Verian, Ashraf e Cao (2018)

## 5.1 Concreto com agregado reciclado

As quantidades de agregado graúdo reciclado utilizadas nas misturas de concreto variaram entre os diferentes pesquisadores, assim como o agregado miúdo reciclado (VERIAN; ASHRAF; CAO, 2018). Na Tabela 1, apresentamos revisão bibliográfica realizada por Verian, Ashraf e Cao (2018) sobre os níveis de substituição de agregado natural por agregado reciclado. Os resultados dos estudos mostram que os agregados graúdo e miúdo reciclado têm grande potencial para serem utilizados como agregados para concreto (VERIAN; ASHRAF; CAO, 2018).

Referências	Agregado graúdo reciclado	Agregado miúdo reciclado
Fumoto e Yamada (1999)	-	0%, 25%, 33%, 51%, 67%, 76%, 84%, 92%, 100%
Leite (2001)	0%, 11,5%, 50%, 88,5%, 100%	0%, 11,5%, 50%, 88,5%, 100%
Gómez-Soberón (2002)	0% e 100%	-
Olorunsogo e Padayachee (2002)	0%, 50% e 100%	-
Zaharieva <i>et al.</i> (2003)	0% e 100%	0% e 100%
Poon <i>et al.</i> (2004)	0%, 20%, 50% e 100%	-
Khatib (2005)	-	0%, 25%, 50%, 75%, 100%
Brito, Pereira e Correia (2005)	33, 66 e 100%	-
Xiao, Li e Zhang (2005)	0%, 30%, 50%, 70%, 100%	-
Sturtevant, Cox e Ave (2006)	0%, 20%, 50%, 100%	0%, 20%, 22%, 25%
Etxeberria <i>et al.</i> (2007)	0%, 20%, 50% e 100%	-
Tam e Tam (2007)	0%, 20% e 100%	-
Rahal (2007)	0% e 100%	-
Kou, Poon e Dixon (2007)	0%, 20%, 50% e 100%	-
Evangelista e Brito (2007)	-	0%, 10%, 20%, 30%, 50%, 100%
Cabral <i>et al.</i> (2008)	0%, 25%, 33% 50%	0%, 25%, 33% 50% e 100%
Liu e Chen (2008)	0% e 100%	0% e 100%
Corinaldesi e Moriconi (2009)	0% e 100%	0% e 100%
Lintz <i>et al.</i> (2012)	0%, 20%, 50%, 80% e 100%	-
Verian <i>et al.</i> (2013)	0%, 30%, 50% e 100%	-
Butler, West e Tighe (2013)	0% e 100%	-
Gomes, Brito e Bravo (2013)	6,25, 12,5, 25 e 50%	-
Landolfo, Oliveira e Nogueira (2014)	50% e 100%	-
Aliabdo, Abd-Elmoaty e Hassan (2014)	0%, 25%, 50%, 75%, 100%	0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%
Amer <i>et al.</i> (2016)	0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%	-
Afroughsabet, Biolzi e Ozbakkaloglu (2017)	0%, 50% e 100%	-
Gao, Zhang e Nokken (2017)	0%, 30%, 50% e 100%	-
Katkhuda e Shatarat (2017)	0% e 20%	-
Kurda, Brito e Silvestre (2017)	0% e 100%	0%, 50%, 100%
Pedro, Brito e Evangelista (2017)	0%, 50% e 100%	0%, 50%, 100%
Stroher <i>et al.</i> (2017)	0%, 5%, 25% e 50%	-
Smith (2018)	0%, 15%, 30% e 50%	-

Estudos sobre o desempenho mecânico de corpos de prova de concreto, como o de Dilbas, Şimsek e Çakir (2014), estabeleceram em 30% a proporção ótima para utilização de agregados reciclados. Já Gomes e Brito (2009) afirmaram que é tecnicamente viável substituir parte do agregado graúdo natural por agregado reciclado de concreto até uma fração de 50% do volume de agregado graúdo utilizado para produção do concreto, e uma substituição de 25% do agregado natural por agregados cerâmicos, sem que isso afete negativamente as tão desejadas propriedades mecânicas do concreto.

Estudos realizados por Silva *et al.* (2015) demonstram em seus experimentos que é viável tecnicamente a produção de concretos com resistências compatíveis à de concretos convencionais através da substituição parcial de agregados naturais por reciclados mistos com < 50% da massa.

Vários estudos relataram que a taxa de desenvolvimento de resistência do concreto com agregado reciclado é maior que a do concreto com agregado natural, especialmente em idades mais avançadas (EVANGELISTA; BRITO, 2007; GESOGLU *et al.*, 2015; KURAD *et al.*, 2017; POON; SHUI; LAM, 2004). Isso se deve ao fato de a argamassa aderida conter aglomerante não hidratado aderido às superfícies das partículas do agregado reciclado que reagem com a água, aumentando a resistência do concreto (KURAD *et al.*, 2017). Dependendo do nível de umidade, a resistência à compressão pode ser reduzida em até 30% ou aumentar em até 20% para 100% de agregados substituídos por agregados reciclados (VERIAN; ASHRAF; CAO, 2018).

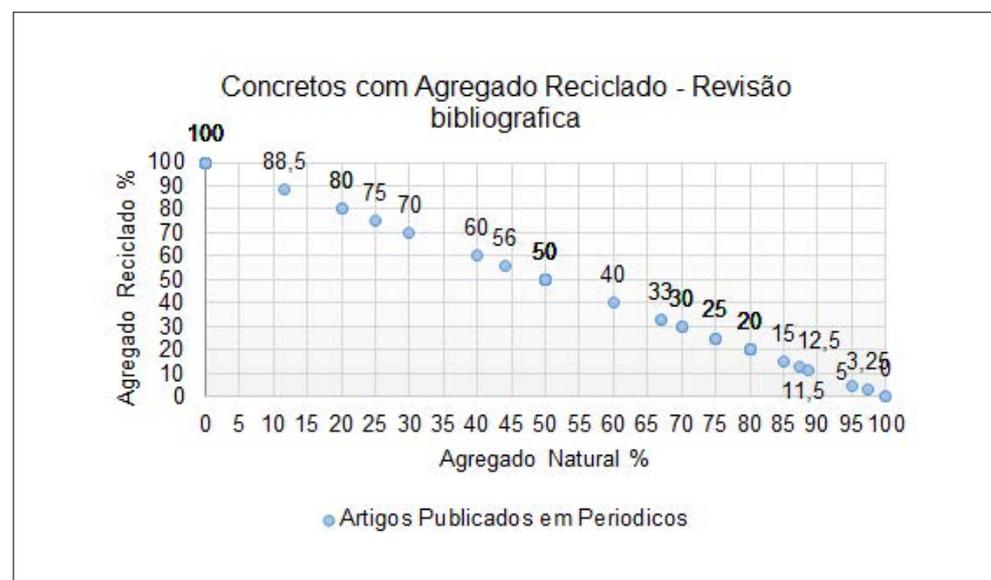
Atribui-se o fenômeno de menor resistência à compressão do concreto produzido com agregado reciclado (KONG *et al.*, 2010; KOU; POON; AGRELA, 2011; LOTFI *et al.*, 2014; TAM; GAO; TAM, 2005; TAM; TAM, 2008) à presença de dois tipos de zonas de transição interfacial (ZTI) na matriz. A ZTI representa a ligação entre o agregado e a pasta, sendo normalmente mais fraca que a pasta de cimento hidratada.

Além disso, a menor resistência à compressão também é impulsionada pelo fato de que uma quantidade maior de água é, em muitos casos, usada na mistura de concreto com agregado reciclado para obter uma trabalhabilidade desejada (KURDA; BRITO; SILVESTRE, 2017).

A Figura 1 ilustra os estudos com substituição de agregado graúdo natural por agregado reciclado, relacionados na Tabela 1. No entanto, para a revisão bibliográfica utilizada há uma concentração maior em pesquisas com substituição entre 20% e 50%.

**Figura 1** ►

Porcentagem de substituição em concretos produzidos com agregado reciclado – Revisão bibliográfica.  
Fonte: dados da pesquisa



A concentração de pesquisas com percentuais de substituição de 20% a 50% retrata um panorama favorável à utilização desse resíduo como agregado em concretos ou materiais construtivos. Entretanto, a falta de normatização para o uso desse tipo de agregado limita a possibilidade de seu uso em concretos estruturais.

Os principais parâmetros de controle frente ao concreto reciclado estão relacionados às propriedades mecânicas, como resistência à tração, resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto. Essas propriedades são norteadas pelas características físicas e mecânicas do agregado graúdo com o qual ele é produzido. Cerca de 65% a 80% em massa do concreto é composto pelo agregado graúdo, fato pelo qual a qualidade do agregado graúdo é primordial para a produção de um concreto com boas propriedades mecânicas.

## 6 Discussão

Os maiores impactos ambientais causados pela construção civil estão relacionados ao consumo de matéria-prima, ao esgotamento dos recursos naturais, à energia incorporada na produção de materiais e às emissões de CO<sub>2</sub>, que aceleram o aquecimento global. Uma busca por transformar uma economia linear já consolidada em uma economia circular tornou-se um dos maiores desafios para a criação de um ambiente construído mais sustentável.

Sabemos dos desafios que enfrentamos: escassez de recursos naturais, geração de resíduos, mudanças climáticas, crise hídrica e, ao mesmo tempo, temos que fomentar a economia para uma população em crescimento. A utilização de agregados reciclados e o uso de argila calcinada, produzidos de restos de material cerâmico, poderá evitar inúmeros impactos ambientais pela não extração de recursos naturais, como agregado graúdo, miúdo e clínquer para produção de concretos.

A construção civil caminha em direção a uma economia circular. Existem diversas técnicas desenvolvidas que vão nesse sentido. Hoje, a construção civil possui um modelo linear e enfrenta dificuldades para se afastar dele. Seu maior objetivo é desenvolver processos, materiais e construções que permitam reutilizar os seus materiais, componentes ou resíduos, introduzindo-os em novos ciclos produtivos, com a mesma qualidade ou superior, estabelecendo uma prática de reciclagem bem consolidada.

A economia circular considera que os edifícios sejam fontes de matérias-primas secundárias. Desse modo, cada parte de uma construção ou edifício tem seu valor e está inserida em um ciclo de vida do produto. O objetivo é tornar os materiais usados nesses edifícios reutilizáveis nas próximas gerações de construção. Cada uma dessas partes tem duração diferente; o projeto, portanto, deve levar isso em consideração, desde a sua construção e uso até sua reciclagem.

Nessa linha de pesquisa, estudos relacionados a variadas formas de reciclagem apresentam um controle tecnológico favorável ao uso do RCD em concretos e materiais construtivos e, com isso, um maior controle das variáveis que norteiam as propriedades mecânicas dos concretos com eles produzidos.

## 7 Conclusão

Pesquisas mostram que o uso de materiais reciclados como agregado graúdo e miúdo no concreto é uma alternativa que nos possibilita um planejamento para o ciclo de vida de materiais na construção civil.

O objetivo é fechar o ciclo, desenvolvendo uma economia circular que gera novos produtos com matérias secundárias produzidas a partir de resíduos da construção. Resíduos que seriam descartados passariam a ter um valor agregado para uso na construção. Assim, a construção deixaria de extrair materiais não renováveis e contribuiria para a redução de impactos ambientais.

A qualidade do concreto reciclado está intimamente relacionada às propriedades físicas e mecânicas do agregado reciclado, tais como forma, textura, dimensão, massa específica, massa unitária e porosidade. Aliado à possibilidade de controlar essas características, há o estímulo para mais pesquisas, tornando possível o alcance de um produto com melhor qualidade e menor custo, permitindo um maior controle tecnológico do concreto reciclado.

A utilização do material reciclado para a composição do concreto estrutural, contudo, ainda não está regulamentada no Brasil, devido à falta de normas técnicas reguladoras de seu uso. Por isso, seu uso é permitido apenas em concretos para usos não estruturais como calçadas, contrapisos, blocos de vedação e outros.

## Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: ABRELPE, 2017. Disponível em: [https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama\\_abrelpe\\_2017.pdf](https://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf). Acesso em: 29 out. 2022.

AL-BAYATI, H. K. A.; DAS, P. K.; TIGHE, S. L.; BAAJ, H. Evaluation of various treatment methods for enhancing the physical and morphological properties of coarse recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 284-298, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.176>.

ALIABDO, A. A.; ABD-ELMOATY, A.-E. M.; HASSAN, H. H. Utilization of crushed clay brick in concrete industry. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, n. 1, p. 151-168, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.12.003>.

ANGULO, S. C.; FIGUEIREDO, A. D. Concreto com agregado reciclado. In: ISAIA, G. C. (org.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. cap. 47, p. 1-40. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/293811678>. Acesso em: 13 mar. 2019.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Normalização dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC)*, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002. p. 1613-1624.

BARBALHO, E. A.; SILVA, E. F.; RÊGO, J. H. S. Estudo da proporção de argila calcinada e filer calcário no cimento LC3 para diferentes teores de substituição. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0906>.

BASTOS, I. A.; CRUZ, L. F.; WOELFFEL, A. B. Fabricação de blocos de concreto para vedação com o uso de agregados reciclados em canteiro de obras. **Revista Científica Faesa**, v. 12, n. 1, p. 52-58, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5008/1809.7367.101>.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. *In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011. cap. 6, p. 1-48.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 55, p. 448-460, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132009000400016>.

CARNEIRO, F. P. **Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na cidade do Recife**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005. Disponível em: <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-102384/diagnostico-e-acoes-da-atual-situacao-dos-residuos-de-construcao-e-demolicao-na-cidade-do-recife>. Acesso em: 25 mar. 2019.

CAVALLINE, T. L.; WEGGEL, D. C. Recycled brick masonry aggregate concrete: use of brick masonry from construction and demolition waste as recycled aggregate in concrete. **Structural Survey**, v. 31, n. 3, p. 160-180, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1108/SS-09-2012-0029>.

CORDEIRO, L. N. P.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; SOUZA, P. S. L.; PAES, I. N. L. Avaliação de processos de misturas de concretos com agregados graúdos reciclados. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 3, p. 255-265, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000300174>.

CUNHA, J. C. S.; DELGADO JUNIOR, H. G.; LACERDA, C. Traços de concreto sem função estrutural com adição de entulho. **Cadernos UniFOA**, v. 11, n. 32, p. 53-63, 2016. DOI: <https://doi.org/10.47385/cadunifoa.v11.n32.344>.

DILBAS, H.; ŞİMŞEK, M.; ÇAKIR, Ö. An investigation on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete (RAC) with and without silica fume. **Construction and Building Materials**, v. 61, p. 50-59, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.057>.

ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; MARÍ, A.; BARRA, M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 37, n. 5, p. 735-742, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.002>.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, n. 5, p. 397-401, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>.

FERNANDES, G. S.; MELO, C. E. L. Estudo das características físicas e hidráulicas de concretos permeáveis com RCD. **Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, n. 26, p. 205-218, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n26.2020.14>.

FROTTÉ, C.; DI NUBILA, C. S. A.; NAGALLI, A.; MAZER, W.; MACIOSKI, G.; OLIVEIRA, L. O. S. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Revista Matéria**, v. 22, n. 2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170002.0143>.

GESOGLU, M.; GÜNEYISI, E.; ÖZ, H. Ö.; TAHA, I.; YASEMIN, M. T. Failure characteristics of self-compacting concretes made with recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 98, p. 334-344, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.036>.

GOMES, M.; BRITO, J. Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates. *In*: BRAGANÇA, L.; PINHEIRO, M.; JALALI, S.; MATEUS, R.; AMOÊDA, R.; GUEDES, M. C. (org.). **Portugal SB07: Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium**. Amsterdam: IOS Press, 2007. p. 887-894.

GOMES, M.; BRITO, J. Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates: durability performance. **Materials and Structures**, v. 42, n. 5, p. 663-675, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9411-9>.

HANSEN, T. C. Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945-1985. **Materials and Structures**, v. 19, n. 3, p. 201-246, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02472036>.

HANSEN, T. C. (ed.). **Recycling of demolished concrete and masonry**. London: CRC Press, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781482267075>.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil**: relatório de pesquisa. Brasília, DF: IPEA, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7669>. Acesso em: 29 out. 2022.

KHALAF, F. M. Using Crushed Clay Brick as Coarse Aggregate in Concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 18, n. 4, p. 518-526, 2006. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2006\)18:4\(518\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2006)18:4(518)).

KLEIN, F. B.; DIAS, S. L. F. G. A deposição irregular de resíduos da construção civil no município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas

públicas ambientais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 40, p. 483-506, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v40i0.47703>.

KONG, D.; LEI, T.; ZHENG, J.; MA, C.; JIANG, J.; JIANG, J. Effect and mechanism of surface-coating pozzalanic materials around aggregate on properties and ITZ microstructure of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 5, p. 701-708, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.038>.

KOU, S. C.; POON, C. S.; AGRELA, F. Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, n. 8, p. 788-795, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.05.009>.

KURAD, R.; SILVESTRE, J. D.; BRITO, J.; AHMED, H. Effect of incorporation of high volume of recycled concrete aggregates and fly ash on the strength and global warming potential of concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 485-502, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.236>.

KURDA, R.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Influence of recycled aggregates and high contents of fly ash on concrete fresh properties. **Cement and Concrete Composites**, v. 84, p. 198-213, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.09.009>.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/21839>. Acesso em: 25 mar. 2019.

LI, L.; POON, C. S.; XIAO, J.; XUAN, D. Effect of carbonated recycled coarse aggregate on the dynamic compressive behavior of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 151, p. 52-62, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.043>.

LIN, K.-L.; CHEN, B.-Y.; CHIOU, C.-S.; CHENG, A. Waste brick's potential for use as a pozzolan in blended Portland cement. **Waste Management and Research**, v. 28, n. 7, p. 647-652, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X09355853>.

LOTFI, S.; DEJA, J.; REM, P.; MRÓZ, R.; VAN ROEKEL, E.; VAN DER STELT, H. Mechanical recycling of EOL concrete into high-grade aggregates. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 87, p. 117-125, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.010>.

MALEŠEV, M.; RADONJANIN, V.; MARINKOVIĆ, S. Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. **Sustainability**, v. 2, n. 5, p. 1204-1225, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3390/su2051204>.

MENG, E.; YU, Y.; YUAN, J.; QIAO, K.; SU, Y. Triaxial compressive strength experiment study of recycled aggregate concrete after high temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 155, p. 542-549, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.101>.

MESQUITA, L. C.; AZEVEDO, I. C. A. D.; CÂNDIDO, E. S.; CATHOUD, G. A. Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de construção e demolição na fabricação

de blocos de vedação. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 3, p. 30-40, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5216/reec.v10i3.32651>.

NACERI, A.; HAMINA, M. C. Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar. **Waste Management**, v. 29, n. 8, p. 2378-2384, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.026>.

NAGATAKI, S.; GOKCE, A.; SAEKI, T.; HISADA, M. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 6, p. 965-971, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.11.008>.

O'FARRELL, M.; SABIR, B. B.; WILD, S. Strength and chemical resistance of mortars containing brick manufacturing clays subjected to different treatments. **Cement and Concrete Composites**, v. 28, n. 9, p. 790-799, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.05.014>.

OLOFINNADE, O. M.; EDE, A. N.; NDAMBUKI, J. M.; BAMIGBOYE, G. Structural properties of concrete containing ground waste clay brick powder as partial substitute for cement. **Materials Science Forum**, v. 866, p. 63-67, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.866.63>.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Reusing ceramic wastes in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 5, p. 832-838, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.023>.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; DIAS, A. J. G.; CORTES, P. L. Aspectos normativos a respeito de resíduos de construção civil: uma pesquisa exploratória da situação no Brasil e em Portugal. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 29, p. 155-169, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v29i0.32851>.

POON, C. S.; SHUI, Z. H.; LAM, L. Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 18, n. 6, p. 461-468, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.005>.

PURUSHOTHAMAN, R.; AMIRTHAVALLI, R. R.; KARAN, L. Influence of Treatment Methods on the Strength and Performance Characteristics of Recycled Aggregate Concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 27, n. 5, 04014168, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001128](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001128).

RIBEIRO, B. M. G.; MENDES, C. A. B. Avaliação de parâmetros na estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 7, n. 3, p. 422-443, 2018. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/8652/5330>. Acesso em: 13 mar. 2019

ROSADO, L. P.; PENTEADO, C. S. G. Avaliação do ciclo de vida do Sistema Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil da Região Metropolitana de Campinas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 71-82, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019179604>.

SANTANA, V. M.; PAES, F. P.; SANTANA, D. S.; CERQUEIRA, M. B. S.; SILVA, F. G. S.; ARAGÃO, H. G. Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais. *In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 11., 2011, São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: Univap, 2011. Disponível em: [https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2011/anais/arquivos/0246\\_0254\\_01.pdf](https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/0246_0254_01.pdf). Acesso em: 13 mar. 2019.*

SENTHAMARAI, R. M.; DEVADAS MANOHARAN, P. Concrete with ceramic waste aggregate. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 9-10, p. 910-913, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.04.003>.

SILVA, D. A.; GEYER, A. L. B.; PANTOJA, J. C. Porosidade do concreto versus forma do agregado graúdo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60359-60376, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-449>.

SILVA, D. A.; MELO, C. E. L. Desafios para o concreto sustentável. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 17, p. 1543-1562, 2020a. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071732](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071732).

SILVA, D. A.; MELO, C. E. L. Processo de britagem e sua influência nas características físicas do agregado graúdo para concreto. **Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, n. 26, p. 36-47, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n26.2020.03>.

SILVA, D. A.; MELO, C. E. L. Utilização de material cerâmico proveniente do RCD para aplicação em concreto: uma revisão. **Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)**, v. 19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/1984-4506.risco.2021.162069>.

SILVA, O. H.; UMADA, M. K.; POLASTRI, P.; DE ANGELIS NETO, G.; DE ANGELIS, B. L. D.; MIOTTO, J. L. Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (REGET)**, v. 19, p. 39-48, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/20558/pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

SILVA, R. V.; BRITO, J.; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201-217, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>.

STROHER, A. P.; KATO, D. S.; YAMAGUCHI, N. U.; JUNIOR, O. M. C. Utilização da cerâmica de entulho na substituição de agregado graúdo do concreto. **Cerâmica Industrial**, v. 22, n. 4, p. 34-46, 2017. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/doi/10.4322/cerind.2017.001>. Acesso em: 19 mar. 2019.

TAM, V. W. Y.; GAO, X. F.; TAM, C. M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 6, p. 1195-1203, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.025>.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMA<sub>s</sub> and TSMA<sub>sc</sub>. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 10, p. 2068-2077, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.024>.

TENÓRIO, J. J. L.; GOMES, P. C. C.; RODRIGUES, C. C.; ALENCAR, T. F. F. Concrete produced with recycled aggregates. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 5, p. 692-701, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952012000500006>.

TOLEDO FILHO, R. D.; GONÇALVES, J. P.; AMERICANO, B. B.; FAIRBAIRN, E. M. R. Potential for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in Brazil. **Cement and Concrete Research**, v. 37, n. 9, p. 1357-1365, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.06.005>.

VERIAN, K. P.; ASHRAF, W.; CAO, Y. Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 133, p. 30-49, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.005>.

WONG, C. L.; MO, K. H.; YAP, S. P.; ALENGARAM, U. J.; LING, T.-C. Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 226-239, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.193>.

XIAO, J.; LI, W.; FAN, Y.; HUANG, X. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996-2011). **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 364-383, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.074>.