

Reutilização do RCC: Avaliação da Sustentabilidade e Impacto Ambiental na Construção Civil

Autor¹: Maik Wesley da Silva Alves
maykwesley87@gmail.com

Autor²: Patrícia de Araújo Lins
Patricialinns17@gmail.com

Orientador³: Alex Borges Roque
alex.borgez@gmail.com

Resumo

A utilização de agregados reciclados no concreto, além de minimizar o impacto no meio ambiente, também reduz o enorme consumo de recursos naturais. O descarte irregular de resíduos é uma das maiores causas de impacto ambiental, por isso a indústria da construção civil tem desenvolvido alternativas para atender as necessidades do cenário e do mercado atual. A reciclagem e o reaproveitamento desses resíduos promovem efetivamente a sustentabilidade, pois essa prática reduz o descarte inadequado desses resíduos no meio ambiente. A produção de Resíduos de Construção Civil (RCC) interfere no ambiente físico, biológico e humano do canteiro de obras por falta de organização e gestão da qualidade da obra. O trabalho tem como objetivo avaliar a sustentabilidade e os impactos ambientais da utilização de resíduos na construção civil, através de uma revisão da literatura, de cunho qualitativo. Portanto, acredita-se que a utilização de resíduos de construção pode reduzir o impacto ambiental do concreto, pois os recursos naturais deixam de ser explorados quando os resíduos são utilizados como agregado. Contudo, concluiu-se que a conversão de até 50% do volume de agregado graúdo traria benefícios ambientais.

Palavras-chave: RCC; Construção Civil; Meio ambiente.

Abstract

The use of recycled aggregates in concrete, in addition to minimizing the impact on the environment, also reduces the enormous consumption of natural resources. Irregular waste disposal is one of the biggest causes of environmental impact, which is why the construction industry has developed alternatives to meet the needs of the current scenario and market. Recycling and reusing this waste effectively promotes sustainability, as this practice reduces the inappropriate disposal of this waste in the environment. The production of Civil Construction Waste (RCC) interferes with the physical, biological and human environment of the construction site due to a lack of organization and quality management of the work. The aim of the work is to evaluate the sustainability and environmental impacts of the use of waste in construction, through a qualitative literature review. Therefore, it is believed that the use of construction waste can reduce the environmental impact of concrete, because natural resources are no longer exploited when waste is used as aggregate. However, it was concluded that the conversion of up to 50% of the volume of coarse aggregate would bring environmental benefits.

Keywords: RCC; Construction; Environment.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas conhecidas e é realizada manualmente desde os primórdios da humanidade, produzindo diversos tipos de resíduos de subprodutos como: tijolos, concreto, argamassa, terra, pedras, metais, resinas, colas, tintas, madeira, compensados, forros, gesso, telhas, pavimentação asfáltica, vidros, plásticos, tubos, fios, blocos cerâmicos, blocos de concreto e blocos de cimento (NZGB, 2016).

Segundo Hoang *et al.*, (2020), as variações na composição dos resíduos de construção se devem a múltiplos fatores como o tipo de construção de cada região, o estágio da obra, a tecnologia construtiva adotada e os materiais disponíveis. Caetano, Selbach e Gomes (2016) afirmam que as fases de superestrutura e revestimento são as fases que mais geram resíduos de construção, representando cumulativamente 81% do volume total. Ainda segundo os autores, em média, 65% dos resíduos no Brasil são materiais minerais, 13% são madeira, 8% são plásticos e 14% são outros tipos de materiais.

Este material é amplamente conhecido e utilizado por projetistas, construtores, operários e demais participantes do processo, sendo uma excelente opção para todos os tipos de construção. No entanto, existem exigências crescentes sobre esta importante escolha estrutural. Desenvolvimentos significativos nos cálculos estruturais, principalmente a disponibilidade de programas de computador, aliados ao maior conhecimento das propriedades mecânicas do concreto e do aço, permitiram aos projetistas especificar estruturas cada vez mais arrojadas em concreto armado e protendido.

De acordo com Salgado (2019) a construção civil ainda é responsável por grande parte do impacto ambiental, pois utiliza 50% dos recursos naturais do planeta, emite 23% de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, consome 40% do total de energia produzida e gera resíduos sólidos. O montante total representa 52,32% do total de resíduos sólidos em áreas urbanas, uma quantidade tão grande é gerada porque quase todas as atividades realizadas neste setor geram detritos (HUANG *et al.*, 2020).

Portanto, a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) é responsável pela coleta de 47 milhões de toneladas de resíduos de construção em 2020. Se não for gerenciado adequadamente, pode

gerar desequilíbrios causando diversos problemas ambientais, como: chuva ácida, efeito estufa, aquecimento global, poluição do ar e da água e danos aos ecossistemas podem, além disso, representar riscos à saúde da população (ABRELPE, 2021).

Por todos esses aspectos, o Brasil implementou a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 5 de julho de 2002, formulando diretrizes, normas e procedimentos para os Resíduos da construção civil (RCC), visando regulamentar sua destinação e tratamento. A resolução CONAMA determina que o RCC não pode ser descartado em aterros de resíduos domésticos, lixões, taludes, terrenos baldios e áreas de proteção ambiental. De acordo com Brasileiro e Matos (2015), o principal objetivo do CONAMA é proporcionar benefícios econômicos, ambientais e sociais. Dessa forma, uma das estratégias é reciclar e reaproveitar esses resíduos por meio do processamento de RCC.

Diante da perspectiva sustentável, a construção civil tem desenvolvido alternativas perante as necessidades e exigências do cenário e mercado atual. A reciclagem e reutilização desses resíduos contribui efetivamente para a sustentabilidade, uma vez que essa prática diminui a disposição inadequada desses resíduos no meio ambiente. É importante considerar a perspectiva econômica, pois a disposição desses resíduos em aterros gera altos custos, tornando a reciclagem uma opção mais atrativa. Outro fator de relevância econômica é a minimização da compra de novos materiais, uma vez que há a substituição desses materiais pelos resíduos, gerando a redução dos custos de aquisição de matéria prima (MATUTI; SANTANA, 2019).

O objetivo do trabalho é avaliar a sustentabilidade e os seus impactos ambientais da utilização de resíduos na construção civil, através de uma revisão da literatura, de cunho qualitativo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sustentabilidade e a indústria da construção civil

A construção civil é considerada grande consumidora de recursos naturais e energia. No entanto, a caracterização dos resíduos gerados é de grande importância para analisar e diagnosticar quais os tipos de resíduos mais gerados no canteiro da obra e também para auxiliar na decisão dos métodos e equipamento se pode utilizar para reutilização do RCC.

Portanto, há necessidade de tornar a construção civil uma atividade mais sustentável e de baixo impacto. Assim, em novembro de 1994, foi realizada em Tampa, Flórida, a primeira Conferência Internacional sobre Arquitetura Sustentável, onde nasceu o conceito de arquitetura sustentável de Charles Gilbert, caracterizado pela criação e planejamento responsável do ambiente construído. Na otimização dos recursos naturais disponíveis e nos princípios ecológicos (FATHALIZADEH *et al.*, 2021).

Udomsap e Hallinger (2020) reiteram que a arquitetura sustentável é um sistema construtivo que promove a intervenção ambiental para atender às necessidades de uso, produção e consumo humano sem utilizar recursos naturais e protegê-los para as gerações atuais e futuras. Pretende, portanto, adotar materiais ecológicos e soluções tecnológicas que promovam o uso bom e econômico de recursos limitados, que reduzam a poluição e aumentem o conforto dos residentes.

De maneira simplificada, o consumo consciente pode ser resumido pela reutilização de resíduos, utilizar recursos recicláveis ou renováveis, proteger o ambiente natural, criar ambientes saudáveis e não tóxicos, bem como o controle de qualidade do ambiente construído.

Esses princípios tornaram-se a essência do conceito de arquitetura sustentável e, segundo Fathalizadeh *et al.* (2021) seguem a conceituação do *Conseil International du Bâtiment* (CIB), que define arquitetura sustentável como a reconstrução e o processo holístico de manter a harmonia entre o ambiente construído e criação de instituições que afirmem a dignidade humana e incentivem a igualdade econômica.

As características da arquitetura sustentável, são as formas como as casas e edifícios são construídos e modificados para o ambiente. Dessa forma, busca-se ao longo de todo o processo, além do uso eficiente de materiais e recursos naturais (como água e energia), os resíduos devem ser minimizados para diminuir o impacto na natureza. A construção sustentável é mais do que apenas usar materiais ecológicos e incorporar espaços verdes ao projeto. O uso de energia limpa, materiais reciclados e estruturas pré-fabricadas são alguns exemplos de ações sustentáveis na construção (SALGADO, 2019)

Para consolidar estas estratégias, o CIB foi pioneiro na Agenda 21 em 1999, um documento que contém 2.500 recomendações destinadas a implementar estratégias de conservação planetária e definir o âmbito para o uso sustentável do património natural, sem impedir o desenvolvimento de qualquer país. Para a

construção civil são estabelecidas metas como: reduzir a poluição, poupar no consumo de energia e água, minimizar a liberação de materiais perigosos para o ambiente, reduzir o consumo de matérias-primas renováveis e não renováveis, melhorar as condições de segurança e de saúde dos trabalhadores, incentivar usuários a criarem edifícios mais seguros e saudáveis (FATHALIZADEH *et al.*, 2021)

2.1.1 Impactos Ambientais, Resíduos de Construção Civil e os Agregados Reciclados

A indústria da construção é um dos setores mais importantes da economia brasileira. No entanto, é responsável por grande parte dos impactos ambientais, tais como: esgotamento dos recursos naturais, ruído, alterações no uso do solo, modificação de ecossistemas, danos a corpos d'água e nascentes, poluição do ar, emissão de resíduos tóxicos, ocupação de terras, etc. A proliferação de moscas, baratas, ratos e outros vetores importantes para a saúde em vias públicas e locais de centros urbanos pode ser prejudicial à saúde humana (KONG; MA, 2020, FATHOLLAHI; COUPE, 2021).

Portanto, há necessidade de torná-la uma atividade de baixo impacto e para isso, arquitetos e engenheiros devem adotar em seus projetos materiais ecológicos e soluções tecnológicas que promovam o bom uso e conservação de recursos limitados, redução da poluição e conforto de gastos. Segundo Huang *et al.*, (2020) esta é uma indústria prudente porque os produtos têm uma longa vida útil, incluindo extração, processamento de matérias-primas, fabricação, transporte, distribuição, utilização, reutilização, manutenção, reciclagem e disposição final de materiais de construção, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do ciclo de vida dos produtos da construção civil



Fonte: Adaptado de Huang *et al.*, (2020)

Por ter um longo ciclo de vida, a construção civil é responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos, que de acordo com Wang *et al.*, (2021) pode chegar a 70% da massa total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) nos países subdesenvolvidos e 30% nos países desenvolvidos. Sendo assim, anualmente a construção civil gera aproximadamente 3,5 bilhões de toneladas de resíduos e seus principais países contribuintes são a China, responsável por 2,36 milhões de toneladas, os Estados Unidos que produz cerca de 534 milhões de toneladas e a Índia que redundaram 530 milhões de toneladas de RCC por ano. Enquanto isso, a União Europeia que é composta por 28 países foi responsável por corporificar 871 milhões de toneladas de resíduos de construção (CHEN *et al.*, 2021).

Desse conglomerado de países, o maior contribuinte anual na geração de RCC é a França, responsável por produzir 349 milhões de toneladas, seguida pela Alemanha com uma geração média de 200 milhões de toneladas de RCC. Na sequência vem o Reino Unido, com uma produção de 90 milhões de toneladas, os Países Baixos com um volume de 81 milhões de toneladas, seguido pela Itália, com uma geração de aproximadamente 40 milhões de toneladas de RCC.

Enquanto isso, na Áustria foram gerados cerca de 35 milhões de toneladas e na Espanha produziu-se cerca de 30 milhões de toneladas de RCC. No continente asiático, seguido da China os maiores geradores de resíduos de construção são o Japão, responsável por produzir 77 milhões de toneladas, e a Coreia do Sul que produz 68 milhões de toneladas de RCC e a África do Sul, que gera mais de 21 milhões de toneladas de RCC anualmente (RAMÓN; DOMINGO, 2020, CHEN *et al.*, 2021).

Já o Brasil, que é considerado um país em desenvolvimento no ano de 2020, produziu aproximadamente 47 milhões de toneladas de RCC, o equivale uma coleta per capita de 221,19 kg por habitante, conforme apresentado na Tabela 1.

Matias (2020) e a Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil afirmam que desse montante a construção de novas edificações, reformas, ampliações e demolições foi a maior contribuinte na geração de RCC.

**Tabela 1 - Quantitativo de resíduos de construção civil coletados por regiões
no ano de 2020**

Região	Coleta Total (t/ano)	Coleta per capita (kg/hab/ano)	%
Norte	1.812.955	97,09	3,86
Nordeste	9.046.890	157,68	19,25
Centro Oeste	5.270.965	319,38	11,22
Sudeste	24.496.975	275,21	52,12
Sul	6.369.615	210,97	13,55

Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, (2020)

Silva (2017) e Hoang *et al.*, (2020) discutiram que a composição desses RCCs irá variar dependendo da tecnologia, habilidade e cultura de construção de cada país. No Brasil, estima-se que em média 65% dos resíduos são materiais minerais, 13% são madeira, 8% são plásticos e 14% são outros tipos de materiais.

Bergsdal, Bohne e Brattebo (2007) relataram que o resíduo de construção mais popular em Oslo é a madeira, que é um dos materiais mais utilizados na Noruega devido à sua capacidade de gerar calor. No entanto, no Vietnã, 42% do RCC é solo escavado, seguido por tijolos de betão e argamassa, que segundo Ding e Xiao (2014) é o maior componente do RCC em Xangai. Na cidade da Galiza (Espanha), Nithya e Ramasamy (2010) afirmaram que 45% dos RCC são causados pelo uso de pisos, revestimentos de parede e revestimentos cerâmicos, e em cidades indianas como Delhi, Mumbai e Calcutá.

Portanto, os resíduos gerados nas atividades de construção são geralmente heterogêneos e existem na forma sólida, constituídos por materiais com propriedades físicas variáveis, dependendo da natureza das matérias-primas e das atividades associadas ao processo de geração. Porém, Akhtar e Sarmah (2018) afirmaram que os RCC são classificados com base em suas finalidades, usos e identificação de características relevantes para a saúde da população. No entanto, a Resolução CONAMA 307 de 2002 dividiu os resíduos de construção civil do Brasil em quatro categorias diferentes.

Santos e Tubino (2021) afirmaram que 6,14% do RCC é reciclado atualmente no Brasil. Porém, esse valor deverá aumentar porque segundo o Ministério de Minas e Energia (2020), a indústria da construção civil consumiu 580 milhões de toneladas de

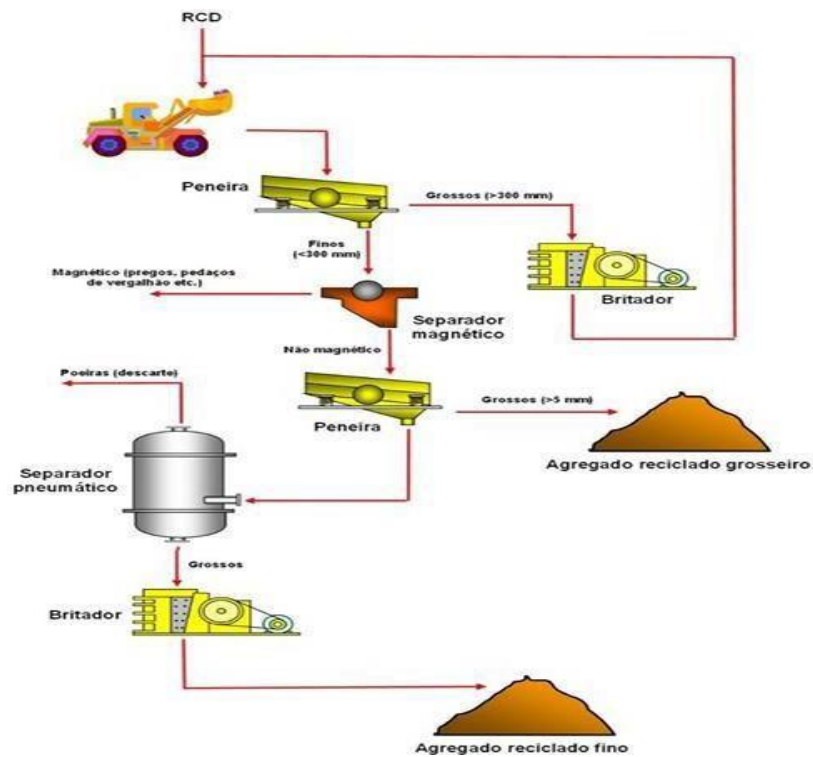
agregados em 2020, sendo 340 milhões de toneladas de agregados finos e 240 milhões de toneladas de agregados graúdos. Destas, 26,9 milhões de toneladas são utilizadas na fabricação de concreto, pois seu volume representa 65% a 70% da massa do material.

Enquanto isso, Hossiney *et al.*, (2020) avaliaram a possibilidade de utilização de resíduos de pavimento asfáltico para produção de blocos de pavimentação de concreto, e seus autores concluíram que a resistência à compressão e à abrasão seria reduzida, encontrando assim um bloco de pavimentação adequado para instalações sem tráfego de veículos 25,8% mais econômicos que os existentes no mercado.

Em contraste, Kurad *et al.*, (2017) realizaram um estudo analisando os efeitos da utilização de cinzas volantes e agregados reciclado no concreto, reconheceram que a melhor combinação em termos de resistência e impacto ambiental é simultânea, uma vez que as cinzas volantes atuam como uma mistura de ligante pozolânico. Otimização através da composição química de resíduos de construção civil para processamento de agregados reciclados.

Portanto, agregados reciclados são definidos como materiais granulares processados que possuem aspectos técnicos e propriedades que podem ser aplicados em obras, infraestrutura, aterros ou outros projetos, e conforme a NBR 15.116 (ABNT, 2021) podem ser Agregados de Concreto Reciclado (ARC), obtido pelo processamento de resíduos de construção civil Classe A com fração grosseira de no mínimo 90%, massa fragmentada à base de cimento e rocha ou agregado reciclado misto (ARM). Materiais cuja composição contenha menos de 90% de material cimentício e rocha. Para obtê-lo, os resíduos de construção e demolição passam por um processo de reciclagem dividido em quatro etapas, conforme fluxograma da Figura 2 logo abaixo. (HOSSINEY *et al.*, 2020; KURAD *et al.*, 2017).

Figura 2 - Fluxograma das etapas para obtenção do agregado reciclado



Fonte: Barros (2005)

A primeira fase envolve o armazenamento dos resíduos em lixões pré-estabelecidos com base no teor de impurezas ou tipo principal. Em seguida vem a etapa de triagem, onde os metais ferrosos são removidos por eletroímãs e o restante do material é removido manualmente, o que pode ser feito antes ou depois da britagem. A terceira etapa é a britagem, que é o processo de reciclagem mais importante, pois afeta a forma, a resistência e o tamanho das partículas agregadas recicladas e geralmente é realizada com um britador de mandíbulas e/ou um britador de impacto.

Por fim, é realizada a peneiração, e as partículas são separadas por tamanho por meio de peneira ou classificador para obtenção do agregado fino reciclado, cujas partículas passam por uma peneira com diâmetro de furo de 4,75 mm e ficam retidas na peneira. Agregado gráudo reciclado com abertura de peneira de 0,150 mm, cujas partículas passam por peneira com abertura de peneira de 75 mm e ficam retidas em peneira com abertura de peneira de 4,75 mm (NBR 7211:2019; NBR 15.116:2021).

2.2.2 Benefícios da Reciclagem dos Resíduos de Construção Civil

Segundo Tam, Soomro e Evangelista (2018), aproximadamente 90% dos RCC

podem ser reciclados. Por isso, inúmeros estudos apontam métodos para seu reaproveitamento, pois acredita-se que as políticas de gestão de resíduos podem reduzir em até 15% as emissões globais de CO², além de aumentar o valor de materiais que de outra forma seriam descartados.

Yu *et al.*, (2019) realizaram um estudo sobre a utilização de agregados reciclados como base e sub-base de pavimentos rodoviários. De modo geral, os autores concluíram que há uma diminuição nas propriedades mecânicas, porque apresentam menor densidade, maior absorção de água e menor resistência ao impacto e ao desgaste.

Böke *et al.*, (2006) concluíram que materiais obtidos pela reciclagem de cerâmicas de argila vermelha (blocos, tijolos, telhas) podem ser utilizados em substituição ao cimento, sua microestrutura contém alto teor de sílica e alumina, que reage quimicamente com o hidróxido de cálcio produzido pela hidratação do cimento e da cal para formar silicato e aluminato de cálcio, portanto, aumenta a atividade das cinzas vulcânicas e reduz o tamanho das partículas. Essa substituição é necessária porque a indústria cimenteira tem alto potencial poluidor e existem fontes de impactos ambientais e sociais em todos os processos produtivos.

Além disso Santos e Tubino (2021) apontaram que a indústria do cimento consome 12% a 15% da energia global e emite 0,8 toneladas de dióxido de carbono por cada tonelada de cimento produzido, sendo responsável por 6% a 7% das emissões globais de dióxido de carbono provocadas pelo homem, o que equivale a 5% das emissões de gases de efeito estufa, das quais as emissões do Brasil respondem por 2,3%.

Benhelal, Shamsaei e Rashid (2021) observam que se esta indústria fosse um país, seria o terceiro maior emissor de gases de efeito estufa do mundo, atrás da China e dos Estados Unidos. Apesar do elevado índice, a indústria cimenteira brasileira é reconhecida internacionalmente pelo seu excelente desempenho energético e ambiental. Além disso, possuem uma das menores taxas de emissão de gases de efeito estufa em comparação com outros países, sendo a média mundial de 634 kg CO² e por tonelada de cimento, enquanto no Brasil é de 564 kg CO² e, o que significa uma redução de 11%. Adicionalmente, o consumo de calor diminuiu 17%, a utilização de combustíveis alternativos aumentou de 5% para 19% e a substituição de clínquer aumentou de 20% para 33%.

Contudo, a indústria cimenteira continua a procurar alternativas na tentativa de

reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e, assim, contribuir para o combate às alterações climáticas. A eficiência ambiental dessas alternativas é muitas vezes medida através da avaliação do ciclo de vida (KURAD *et al.*, 2017).

3. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa e sistemática da literatura, descritiva, de aspecto qualitativo, método que oferece, como resultado, a situação atual acerca do conhecimento sobre o tema investigado. Consiste em um método amplo de pesquisa baseada em evidências, onde permite a combinação de dados da literatura empírica e teórica e a inclusão de estudos experimentais e não experimentais, que estão relacionados à sistematização e publicação dos resultados de uma pesquisa bibliográfica. Tem como principal objetivo a integração entre a pesquisa científica e a prática profissional (MENDES, SILVEIRA, GALVAO, 2008).

Portanto, para conferir rigor metodológico, serão percorridas as seguintes etapas para a realização deste estudo: identificação de problema, com a definição da questão de pesquisa; estabelecimento de critérios para inclusão e/ou exclusão de estudos para a busca de literatura científica; definição das informações a serem extraídas dos estudos; avaliação dos estudos; interpretação dos resultados e apresentação da revisão/síntese do conhecimento (SOUZA, SILVA, CARVALHO, 2010).

A busca foi realizada em dois bancos de dados: Scielo, Google Scholar. Nas seguintes etapas: escolha e delimitação do tema; estabelecimento das palavras-chave e critérios de inclusão e exclusão, e análise das informações colhidas. Na busca foram utilizados os seguintes descritores, em português “Sustentabilidade”; “Qualidade de Vida”; “ Impacto Ambiental” e seus similares em inglês: “*Sustainability*”; “*Quality of life*”; “*Environmental impact*”.

Os critérios de inclusão foram: artigos no período de 2013 a 2023, (sendo necessário referenciar artigos mais antigos, por serem fundamentais para elucidar pontos importantes sobre o tema). Após a coleta de dados nesses artigos foi realizado um detalhamento sobre a importância da qualidade de vida no trabalho. Os critérios de exclusão foram: artigos pagos, artigos não associados ao tema e as duplicações de indexação de artigos foram excluídos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontrados 1.646 estudos nas bases de dados. Dos estudos encontrados na busca, 640 foram removidos por estarem duplicados e 916 foram excluídos. Posteriormente, foram avaliados o resumo completo de 10 estudos para potencial elegibilidade, no entanto, 4 resumos dos artigos não contemplavam o objetivo e a temática principal analisada, restando assim, 6 artigos para inclusão na revisão sistemática. O processo de recuperação de artigos, estratificação e extração de dados são apresentados na Figura 1.

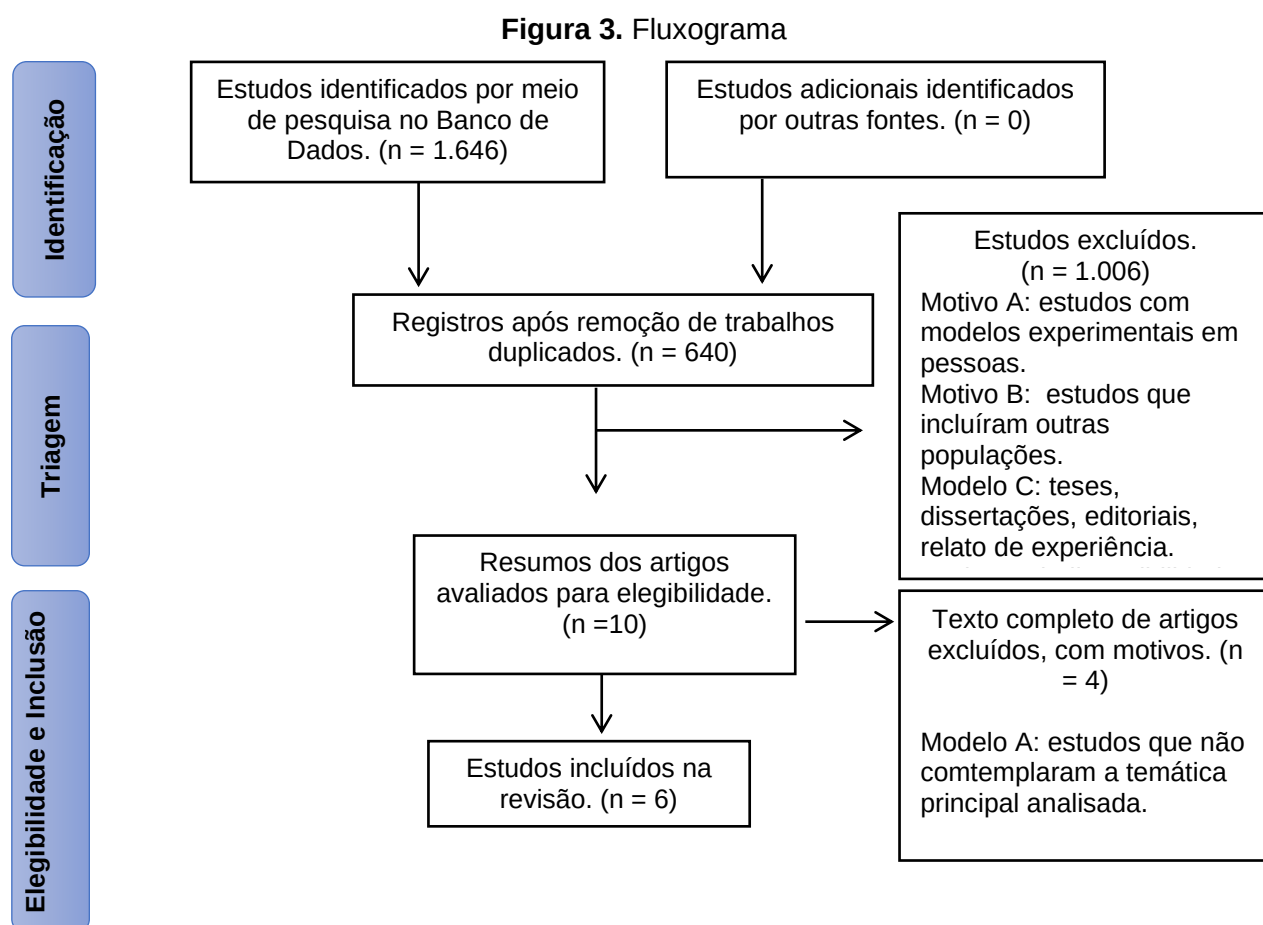


Tabela 1. Informações dos autores, objetivo, metodologia e conclusão

AUTORES (ANO)	TÍTULO	OBJETIVO	METODOLOGIA	CONCLUSÃO
CUNHA (2022)	Análise dos impactos ambientais de concretos com agregado reciclado de	Realizar uma análise de sensibilidade de transporte, custo e uma avaliação do ciclo de vida	E para o desenvolvimento da ACV utilizou-se o software Sima Pro Faculty, o banco	Entretanto, concluiu-se que comutar até 50% do volume do agregado gráudo trará benefícios ambientais, desde que a distância

	resíduos de construção civil.	comparativa entre o concreto com agregado graúdo natural e reciclado, obtido através do beneficiamento dos resíduos de construção civil, afim de encontrar	de dados Ecoinvent, o método de cálculo CML 2002, a unidade funcional de 1 m³ de concreto com resistência de 32 MPa e a fronteira do sistema foi de uma abordagem berço ao portão, que considera o ciclo de vida do produto desde a extração de matéria prima até a porta da fábrica.	máxima para aquisição desse insumo não ultrapasse 120 km
NASCIMENTO; MORAES; LOPES (2022)	Sustentabilidade na construção civil no Brasil: Uma revisão da literatura	Este trabalho tem por objetivo revisar quais métodos e tecnologias estão sendo aplicados no Brasil para se alcançar a sustentabilidade no canteiro de obras. Neste tópico temos a contextualização do presente trabalho, no tópico dois são apresentados os	Este estudo trata-se de uma Revisão de Literatura, que tem objetivo reunir quais métodos e tecnologias podem ser aplicados para se alcançar a sustentabilidade na fase de projeto, no canteiro de obras e no descarte dos	As medidas identificadas no presente trabalho para mitigar os danos ambientais causados pela Indústria da Construção civil foram projetos de paginação, visando a quantificação de resíduos oriundos da construção, reutilização de água pluviais e usinas destinadas

		matéria.	resíduos oriundos de construção civil. Foi analisado, por meio das literaturas e artigos dispostos, as técnicas disponíveis para se alcançar a sustentabilidade na Construção Civil no Brasil, em um período de 1994 a 2022, como forma de conscientização.	a reciclagem de resíduos provenientes da construção civil para reaproveitamento.
GLÓRIA <i>et al.</i> , (2020)	Reciclagem e reutilização de resíduos da construção civil e demolição	o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise qualitativa sobre como os RCC e RCD podem ser reciclados e reutilizados no setor da construção civil.	A metodologia utilizada consistiu em um estudo exploratório, por meio de uma pesquisa bibliográfica embasados em trabalhos científicos já publicados.	Dessa maneira, é imprescindível avaliar o objetivo final da aplicação dessas misturas, a fim de obter produtos com qualidade e segurança, obedecendo as normativas vigentes.
SERINOLLI (2021)	Resíduos da construção civil: o novo olhar para a reciclagem	Com isso, o presente artigo tem como objetivo discutir a sustentabilidade através da reciclagem de RCC e seu destino final.	Foi realizada uma revisão de literatura mediante a pesquisa bibliográfica de artigos,	Conclui-se que é essencial que haja um Plano de Gestão de RCC nas obras futuras, a fim de controlar a geração,

			trabalhos científicos e livros de acordo com o tema nos últimos 20 anos.	reciclagem e destinação dos resíduos, minimizando assim os impactos ambientais.
SILVA (2020)	A Gestão de Resíduos Sólidos na Indústria da Construção Civil	Este artigo tem como objetivo apresentar diretrizes para uma gestão adequada de resíduos sólidos na construção civil, seguindo a Resolução 307 do CONAMA, que estabelece as responsabilidades de todas as partes envolvidas no processo de gerenciamento de resíduos.	O presente trabalho adotou a metodologia de revisão bibliográfica para obter informações relevantes e embasar a discussão do tema em questão. Uma revisão bibliográfica consiste em uma pesquisa abrangente que envolve a análise de estudos científicos, conceitos, problemas e pesquisas experimentais e não experimentais.	Em resumo, a gestão de resíduos sólidos na construção civil, baseada no conceito de desenvolvimento sustentável, busca reduzir o impacto ambiental causado pela indústria, promovendo a limpeza, organização e benefícios financeiros nas obras, ao mesmo tempo em que abre caminho para um futuro mais sustentável.
SALOMÃO <i>et al.</i> , (2019)	Reutilização dos resíduos	Este trabalho vem com o objetivo de	O presente trabalho adotou	A área de engenharia civil

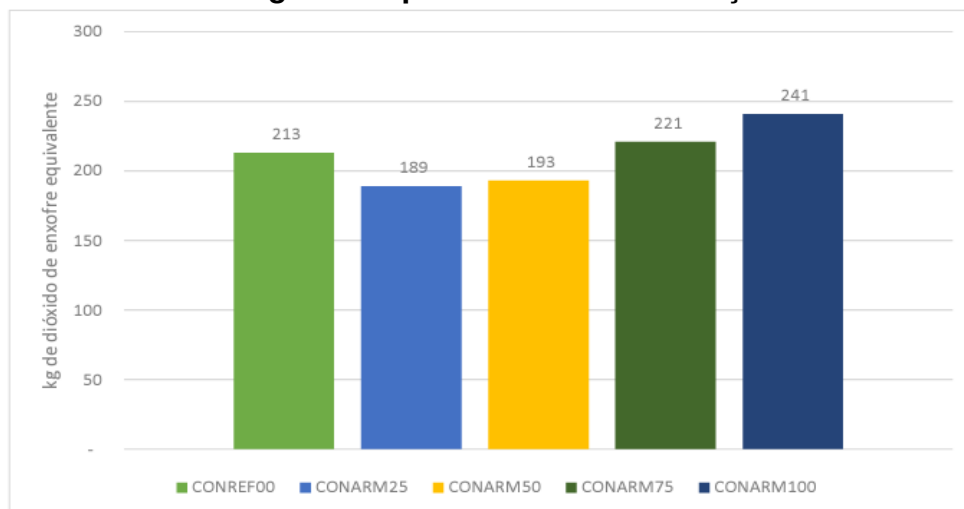
	gerados pela construção civil : uma breve revisão	mostrar que há formas de reutilização para o RCC, apresentando um modo de diminuir o desperdício e impactos ambientais gerados por resíduos da construção civil.	a metodologia de revisão bibliográfica para obter informações relevantes e embasar a discussão do tema em questão.	cresce constantemente, em consequência se torna um grande responsável pela geração de uma grande quantidade de entulho, seja de novas construções ou provenientes de reformas, ambas geram resíduos que por muitas vezes são descartados de forma irregular em aterros clandestinos.
--	---	--	--	--

Fonte: autora (2023)

Segundo Cunha (2022) o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) do concreto com agregado graúdo natural (CONREF00) e agregado reciclado (CONARM25, CONARM50, CONARM75 e CONARM100) com resistência mecânica de 32 MPa foi avaliado pelo método *Capital Market Line-CML* 2002 e obtido com o objetivo de estudar diferentes categorias dos impactos ambientais. A primeira é a acidificação, que segundo Schneider (2019) o efeito de processos que aumentam a acidez da água e do solo devido ao acúmulo de íons hidrogênio e alumínio e à lixiviação de bases catiônicas.

É causada pelas emissões atmosféricas e pelo fornecimento de produtos químicos acidificantes, como óxidos de azoto (NOx), dióxido de enxofre (SO₂) e amoníaco (NH₃), que podem ter um impacto negativo na fertilidade do solo e prejudicar a produtividade agrícola. Contudo, é uma categoria de impacto onde a maior parte dos seus impactos ocorre em escala regional. Como pode ser visto na Figura 4, o potencial de acidificação do concreto de agregado graúdo natural (CONREF00) é de 213 kg equivalente de SO₂.

Figura 4 – Comparativo entre os concretos com agregados naturais e reciclado na categoria de potencial de acidificação



Fonte: Cunha (2022)

Cunha (2022) aponta que o aumento da acidez da água, é causada pelas emissões atmosféricas e pelo fornecimento de produtos químicos acidificantes, como óxidos de azoto (NOx), dióxido de enxofre (SO₂) e amoníaco (NH₃), que podem ter um impacto negativo na fertilidade do solo e prejudicar a produtividade agrícola.

Além disso, outra categoria com aplicações regionais é a toxicidade humana, que resulta de produtos químicos com altos níveis tóxicos que chegam ao corpo humano através do meio ambiente. O estudo de Bueno (2014) corrobora com a ideia do autor anterior, apontando a respeito da exposição que ocorre por meio da inalação de ar ou de outras substâncias (por exemplo, alimentos) ingeridas por via oral. Trata-se de uma categoria extremamente sensível a determinadas emissões liberadas na etapa de clínquer do cimento, tais como: emissões de arsênio, cobre e cádmio.

De acordo com Nascimento; Moraes; Lopes (2022) os resíduos de construção civil são um dos maiores geradores de resíduos do mundo. Portanto, isso se tornou um sério problema ambiental devido à falta de gestão de resíduos. A gestão de resíduos é, portanto, uma etapa fundamental do planejamento e inclui um conjunto de ações adequadas dirigidas ao destino final dos resíduos gerados em todas as fases de obra, recolha, armazenamento, transporte e tratamento, de forma a proteger a qualidade ambiental e a saúde pública. É importante lembrar que esta prática também visa minimizar e aproveitar a geração de resíduos.

Ainda segundo apontamentos dos autores Nascimento; Moraes; Lopes (2022) o autor realizou uma avaliação do ciclo de vida para analisar a oxidação fotoquímica de diferentes teores de cinzas volantes (0%, 30% e 60%) e agregado graúdo reciclado (0% e 100%) em 1 metro cúbico de concreto. Concluiu-se que quando 30% a 60% do cimento foi substituído por cinzas volantes, houve uma redução de 22% a 45%, e quando o agregado graúdo foi totalmente substituído por agregado reciclado, houve uma redução de cerca de 16%.

Conforme apontamentos de Gloria *et al.*, (2020) as características dos agregados reciclados são extremamente importantes e devem ser levadas em consideração na aplicação deste material. A gravidade específica está diretamente relacionada à porosidade do agregado. A pesquisa aponta ainda que quanto maior a absorção de água, menor a gravidade específica. No entanto, como os agregados reciclados têm uma gravidade específica inferior aos agregados naturais, podem ser satisfatoriamente utilizados no fabrico de produtos de betão, uma vez que são muito mais leves em comparação com os agregados naturais.

Em concordância com os apontamentos de Gloria *et al.*, (2020), o autor Schneider (2019) salientou que a indústria cimenteira emite 0,8 toneladas de CO₂ por cada tonelada de cimento produzida, o que representa, em última análise, 6% a 7% das emissões antropogênicas globais de CO₂ e o equivalente a 5% das emissões de gases com efeito de estufa. Portanto, afirma-se que ele é responsável pela maior parte dos impactos ambientais do concreto. Pesquisadores têm estudado a substituição de materiais virgens e cimento por subprodutos ou resíduos, com ou sem ativação alcalina.

Segundo Serinolli (2021) a cadeia produtiva da construção apresenta inúmeras vantagens que a tornam uma grande recicladora. Por outro lado, como indústria, a oportunidade de reduzir o impacto ambiental significativo através da reciclagem é muito interessante. Esta é uma abordagem proativa neste momento, especialmente porque a indústria é um dos principais geradores de resíduos na economia. Dado o enorme impacto económico e ambiental do problema dos RCD (resíduos de construção e demolição), os municípios dos grandes centros urbanos do Brasil deverão em breve tomar medidas para forçar as empresas de construção a reciclar os seus próprios resíduos.

Silva (2020) compararam o concreto com 35% e 50% de agregados naturais substituídos por agregados reciclados e concluíram que para o mesmo teor de cimento, o uso de energia e o potencial de aquecimento global seriam semelhantes. Enquanto isso, Yazdanbakhsh *et al.*, (2018) compararam concreto com agregados naturais e reciclados e encontraram impactos ambientais semelhantes. No entanto, os autores observam que quando se leva em conta a prevenção de aterros, a magnitude do impacto ambiental parcial do concreto agregado reciclado é menor do que a do concreto agregado natural (16% e 17% para acidificação e fumegante, respectivamente).

Em comparação com o estudo de Silva (2020) e o estudo de Poon, Kou e Lam (2002) os autores abordam que para avaliar a viabilidade do uso do RCC na fabricação de blocos de concreto e preciso de uma substituição de agregados graúdos e miúdos por agregados reciclados, respectivamente 25% e 50%, tem pouco efeito. Há um efeito na resistência do bloco, mas níveis mais elevados de deslocamento reduzem a resistência à compressão.

Segundo Salomão *et al.*, (2019) os resíduos de construção civil (RCC) são considerados inertes, o que corresponde à Classe II B da NBR 10004 (ABNT, 2004), sendo comumente utilizados como agregado reciclado em obras de pavimentação e construção de casas. No geral,

os RCC brasileiros não representam grandes riscos ao meio ambiente em razão de suas características químicas e minerais, semelhantes aos agregados naturais e solos. No entanto, os RCC podem conter impurezas advindos de polímeros, gesso, matéria orgânica, amianto, sílica e diversas substâncias reativas capazes de contaminar o solo e os recursos hídricos e, ainda, ocasionar riscos à saúde humana.

Ainda segundo apontamentos de Salomão *et al.*, (2019) o agregado de concreto reciclado, por exemplo, pode ser utilizado para a fabricação de novos concretos e ainda assim apresentar resultados técnicos e de custo satisfatórios. Da mesma forma, agregado residuais de cerâmica vermelha podem ser utilizados satisfatoriamente para a fabricação de novos tijolos e argamassas.

5. CONCLUSÕES

Atualmente, o reaproveitamento de resíduos tornou-se uma questão fundamental na melhoria do meio ambiente, tanto pela redução do desperdício de recursos naturais, como pela minimização do impacto ambiental da disposição final dos resíduos. A fabricação do concreto não é ecologicamente correta devido ao consumo destrutivo de recursos naturais e aos diversos efeitos ao meio ambiente após o uso.

Portanto, o uso de materiais reciclados está se tornando cada vez mais popular. De modo geral, os materiais reciclados são utilizados no concreto com a finalidade de substituir agregados finos ou grãos ou como aditivo ao cimento. Muitos resíduos são usados para fazer concreto comum e até mesmo concreto de alto desempenho. Porém, os agregados reciclados são pouco utilizados na construção estrutural devido às deficiências do material, como sua alta capacidade de absorção de água e seu formato angular e alongado.

No entanto, à medida que o uso de agregados reciclados se torna cada vez mais difundido, o uso de agregados reciclados em CAD é necessário. Além disso, o uso de agregados reciclados pode levar a indústria do concreto a abraçar o conceito de desenvolvimento sustentável. Portanto, este estudo examina as propriedades mecânicas do CAD utilizando agregados reciclados derivados de concreto de demolição de construção, substituição parcial e completa de agregados finos naturais, e compara os resultados com concretos fabricados com agregados naturais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUNHA, I. B. **ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE CONCRETOS COM AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**. PUCRS, 2022. Disponível em: https://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/10398/2/Tese_Iasminy%20da%20Cunha.pdf.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR-10004: Resíduos sólidos – Classificação**. [S.l.], 2004.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Signus, v.1, p.424, 2013.

- AKHTAR, A.; SARMAH, A. K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262–281, 2018.
- BENHELAL, E.; SHAMSAEI, E.; RASHID, M. I. Challenges against CO₂ abatement strategies in cement industry: a review. **Journal of Environmental Sciences**, v. 104, p. 84–101, 2021.
- 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.
- CAETANO, M. O.; SELBACH, J. B. O.; GOMES, L. P. Composição gravimétrica dos RCD para a etapa de acabamento em obras residenciais horizontais. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 51–67, 2016.
- CHEN, K.; *et al.* Critical evaluation of construction and demolition waste and associated environmental impacts: A scientometric analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 287, p. 125071, 2021.
- DING, T.; XIAO, J. Estimation of building-related construction and demolition waste in Shanghai. **Waste Management**, v. 34, p. 2327–2334, 2014.
- FALESCHINI, F.; *et al.* Sustainable Management and Supply of Natural and Recycled Aggregates in a Medium-Size Integrated Plant. **Waste Management**, v. 49, p. 146–155, 2016.
- FATHALIZADEH, A.; *et al.* Barriers impeding sustainable project management: A Social Network Analysis of the Iranian construction sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 318, 2021.
- FATHOLLAHI, A.; COUPE, S. J. Life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC) of road drainage systems for sustainability evaluation: Quantifying the contribution of different life cycle phases. **Science of the Total Environment**, v. 776, 2021.
- KONG, L.; MA, B. Evaluation of environmental impact of construction waste disposal based on fuzzy set analysis. **Environmental Technology and Innovation**, v. 19, 2020.
- HOANG, N. H.; *et al.* Waste generation, composition, and handling in building-related construction and demolition in Hanoi, Vietnam. **Waste Management**, v. 117, p. 32–41, 2020.
- HOSSINEY, N.; *et al.* Alkali-activated concrete paver blocks made with recycled asphalt pavement (RAP) aggregates. **Case Studies in Construction Materials**, v. 12, 2020.
- HUANG, B.; *et al.* A Life Cycle Thinking Framework to Mitigate the Environmental Impact of Building Materials. **One Earth**, v. 3, p. 564–573, 2020.
- GEHLOT, M.; SHRIVASTAVA, S. S. construction P. A. **perspective view of I. construction industry professionals. Sustainable construction Practices: A perspective view of Indian construction industry professionals. Materials Today: Proceedings**, 2021.
- GLÓRIA, Marcus Vinicius Araújo. *Et al.* Reciclagem e reutilização de resíduos da construção civil e demolição. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. V.5, n.11, p. 61–80, 2020.
- KUMAR, S.; *et al.* Abrasion resistance of sustainable green concrete containing waste tire rubber particles. **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 906–909, 2016.
- SCHNEIDER, M. The cement industry on the way to a low-carbon future. **Cement and Concrete Research**, v. 124, 2019.

KURAD, R.; *et al.* 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, 2017.

MATUTI, Bruna Barbosa; SANTANA, Genilson Pereira. **Reutilização de resíduos de construção civil e demolição na fabricação de tijolo cerâmico** – uma revisão. *Scientia Amazonia*, v. 8, n.1, E1-E13, 2019

MATIAS, A. N. **Resíduos de construção e demolição à luz da política nacional de resíduos sólidos**. Foz do Iguaçu. 2020. 205 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Brasil.

MENDES, SILVEIRA, GALVAO. **Revisão integrativa**: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. Reflexão. Texto contexto enfermagem, 2008.

NASCIMENTO, Emilli Rodrigues do; MORAIS, Denilson Pedro Ferreira de. LOPES, Shara Carvalho. Sustentabilidade na construção civil no Brasil: Uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p.1-12, 2022.

NEW ZEALAND GREEN BUILDING COUNCIL. **Green Star Technical Manual**, v.3, n.1. NZGB, p. 542, 2016.

POON, C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. **Construction and Building Materials**, v. 16, n. 5, p. 281–289, 2002.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 10, p. 1592–1600, 2010.

ROSSI, B.; *et al.* Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. **Building and Environment**, v. 51, p. 395–401, 2012.

SALGADO, Mônica Santos. **Arquitetura e Sustentabilidade**: Os “Selos Verdes”. Arquitetura e Urbanismo: Planejando e Edificando Espaços, p.107, 2019.

SALOMÃO, Pedro Emílio Amador. Et al. Reutilização dos resíduos gerados pela construção civil: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v.8, n.10, p. 01-13, 2019.

SERINOLLI, Gustavo Perpetuo. Resíduos da construção civil: o novo olhar para a reciclagem. **Revista científica semana acadêmica**. Fortaleza-ce. v.09, p.1-17, 2021.

SILVA, S. R. da; ANDRADE, J. J. de O. Investigation of mechanical properties and carbonation of concretes with construction and demolition waste and fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 153, p. 704–715, 2020.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias; CARVALHO, Rachel de. **Revisão integrativa**: o que é e como fazer. Einstein, Morumbi, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010.