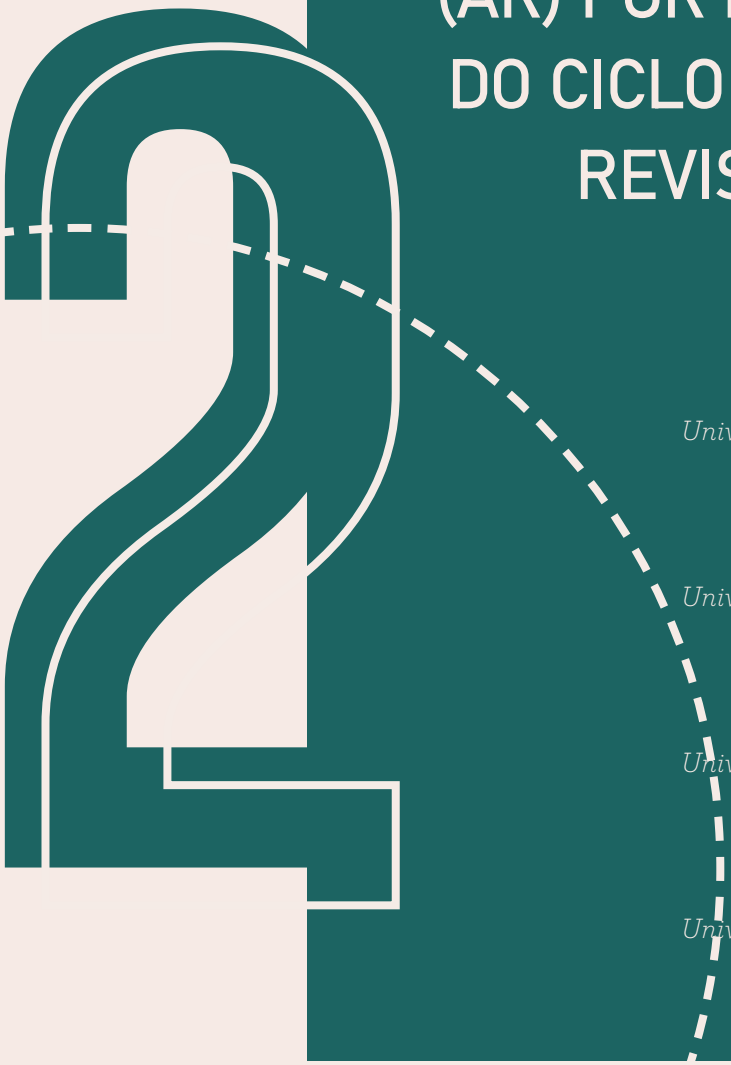
ANAIS
IV EURO ELECS
2021

ARTIGO

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE CONCRETOS E ARGAMASSAS CONTENDO MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES (MCS) E AGREGADOS RECICLADOS (AR) POR MEIO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV): UMA REVISÃO DA LITERATURA



FARIAS, Lidianne do Nascimento
(lidianne.farias@coc.ufrj.br)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

ROCHA, Joaquin Humberto Aquino
(joaquin.rocha@coc.ufrj.br)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

CALDAS, Lucas Rosse
(lucas.caldas@fau.ufrj.br)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

TOLEDO FILHO, *Romildo Dias*
(toledo@coc.ufrj.br)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

PALAVRAS-CHAVE

Revisão Sistemática da Literatura, Categorias de Impacto, Concreto, Argamassa.

RESUMO

A indústria da construção civil é conhecida por ser uma das principais fontes de emissão de poluentes em todo o mundo. Em correlação com a escassez crescente de matérias-primas naturais e impacto da geração de resíduos, para promover a sustentabilidade na construção, são utilizados diferentes Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) e Agregados Reciclados (AR) que podem substituir tanto o cimento quanto os agregados na produção de concretos e argamassas, principalmente. Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para se entender como são os impactos ambientais quando MCS e AR são empregados em conjunto em concretos e argamassas, por meio da metodologia ACV. A metodologia consistiu na busca de documentos científicos que realizaram estudos da ACV para a avaliação de concretos e argamassas que empregam MCS e AR, nas bases de dados Scopus e *Web of Science*. Os resultados apresentados mostram que todos os estudos adotam uma fronteira do sistema *cradle-to-gate*, atribuindo-se que é o mais representativo, mas também denotam a falta de dados para estimar o comportamento do produto até o final de sua vida útil. Para realizar ACV, dados secundários são utilizados, principalmente bancos de dados (Ecoinvent e ELCD). O Potencial de Aquecimento Global é a categoria de impacto comum em todos os estudos, seguido por Potencial de Depleção Abiótica e Potencial de Acidificação. Os métodos utilizados nos estudos quantificam apenas os efeitos intermediários das categorias de impacto e apenas um estudo considerou os efeitos finais; esta etapa é assistida pelos programas *Simapro* e *OpenLCA*, preferencialmente. Os estudos mostraram que o uso de MCS e AR conseguem reduzir os impactos ambientais dos concretos e argamassas avaliadas, mas a redução é maior quando ambos são usados ao mesmo tempo do que quando usados separadamente, principalmente quanto aos agregados reciclados e suas distâncias de transporte.

1. INTRODUÇÃO

Devido aos impactos ambientais provocados pela indústria da construção civil, surge como necessidade o desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis (HOSSAIN et al., 2018). Nesse sentido, sugere-se a utilização de resíduos em novos materiais. Na literatura, os Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) são considerados substitutos parciais do cimento, como cinza volante, sílica ativa e escória de alto forno (LIMA et al., 2017). Por outro lado, também é relatado o reaproveitamento de agregados reciclados (AR) para a produção de concreto e argamassa (KURDA; SILVESTRE; BRITO, 2018; ZHANG et al., 2019).

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, com uma produção anual de 6,5 bilhões de toneladas (VIEIRA; CALMON; COELHO, 2016; ZHANG et al., 2019). Neste contexto, procuram-se novos materiais que possam substituir os seus componentes de maior impacto ambiental: cimento Portland e agregados (brita e areia), sendo que para a sua produção existe uma grande emissão de dióxido de carbono (CO_2) e é consumida uma grande quantidade de recursos naturais (HOSSAIN et al., 2018).

O concreto exige uma grande demanda por agregados, o que pode levar à escassez de materiais, além de outras despesas, como transporte. Portanto, o uso de AR em vez de agregados naturais pode ser uma alternativa sustentável. Embora haja preocupação com o destino dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), os AR podem ser produzidos a partir desses resíduos. Os AR têm características semelhantes aos agregados naturais para uso na construção civil; entretanto, estudos prévios devem ser realizados para garantir seu desempenho (LIMA et al., 2017).

A utilização de resíduos é uma alternativa para minimizar os problemas ambientais, mas o estudo do impacto ambiental não só deve considerar o início, mas também até o final do seu ciclo de vida (VIEIRA; CALMON; COELHO, 2016). Isso implica a aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que vem sendo aplicada na construção civil nos últimos anos (HOSSAIN et al., 2018; ZHANG et al., 2019; CALDAS et al., 2021).

Na literatura, diversos estudos são apresentados sobre a aplicação da metodologia ACV para determinar os impactos ambientais de materiais de construção, utilizando tanto MCS quanto AR, sendo que o uso desses resíduos pode reduzir significativamente os impactos ambientais (COLANGELO et al., 2018; BRAGA; SILVESTRE; BRITO, 2017; ROSADO; PENTEADO; ARENA, 2017). No entanto, ainda existem limitações e imprecisões na aplicação da metodologia ACV e a avaliação conjunta desses dois tipos de materiais; portanto, o objetivo deste artigo é realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre a aplicação da metodologia ACV para se entender como são os impactos ambientais quando MCS e AR são empregados em conjunto em concretos e argamassas.

2. METODOLOGIA

No presente estudo foi realizada uma RSL, considerando artigos de revistas internacionais. A Figura 1 apresenta o processo seguido. Para a realização do trabalho, as bases científicas da *Scopus* e *Web of Science* (WoS) foram consideradas. No critério de pesquisa foi realizada a busca em Título, Resumo e Palavras-chave: ("LCA" *OR* "*Life Cycle Assessment*") *AND* ("SCM" *OR* "*Supplementary Cementitious Materials*") *AND* ("RA" *OR* "*Recycled Aggregate*").

Com as publicações relacionadas, foram analisados o título e resumo a fim de identificar os artigos mais relevantes, considerando aqueles que apresentavam informações completas sobre a metodologia ACV e desde o ano 2015. No total 12 artigos foram selecionados para o presente estudo. Poucos estudos foram encontrados tendo em vista que o uso conjunto de MCS e AR ainda não é uma prática tão comum.

Após a seleção dos artigos, foram considerados os aspectos metodológicos da ACV: definição de objetivo e escopo; Inventário de Ciclo de Vida (ICV); Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e interpretação. Além disso, também foram analisadas informações complementares: país de origem, data e distribuição de publicações por revista. No entanto, é importante mencionar que os estudos realizados consideram os impactos ambientais de MCS e AR em conjunto, portanto, não foi possível discriminar por material analisado.

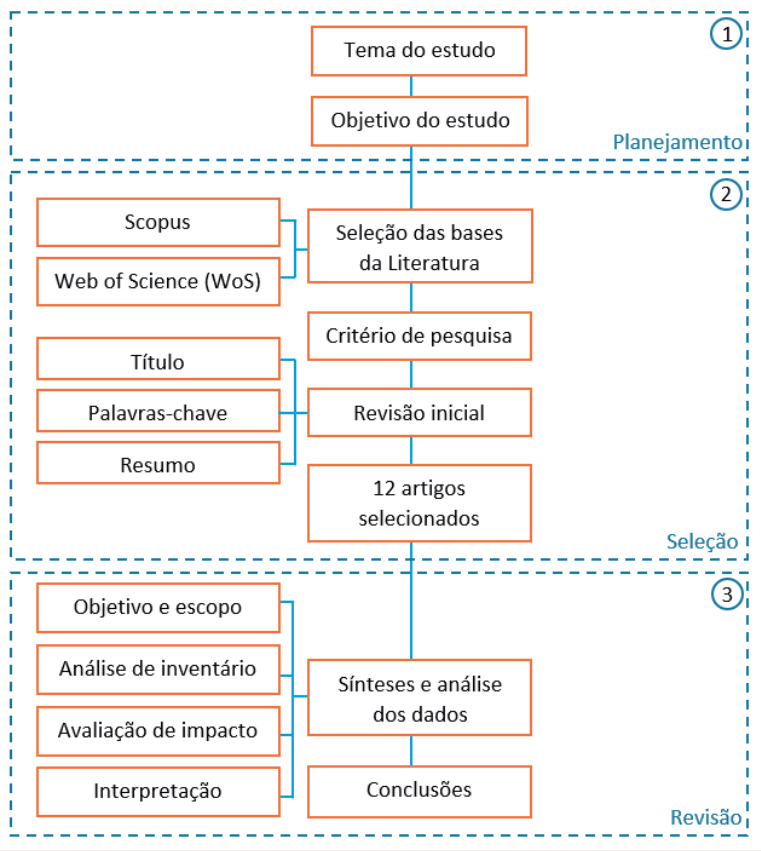


Figura 1. Diagrama da metodologia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 MAPEAMENTO DOS ESTUDOS

A Figura 2 apresenta os países de origem das pesquisas, onde Portugal se destaca com a maioria das publicações, 25% (3/12), seguido da Austrália com 16,67% (2/12). O continente europeu tem a maior quantidade de artigos publicados no assunto (50%).

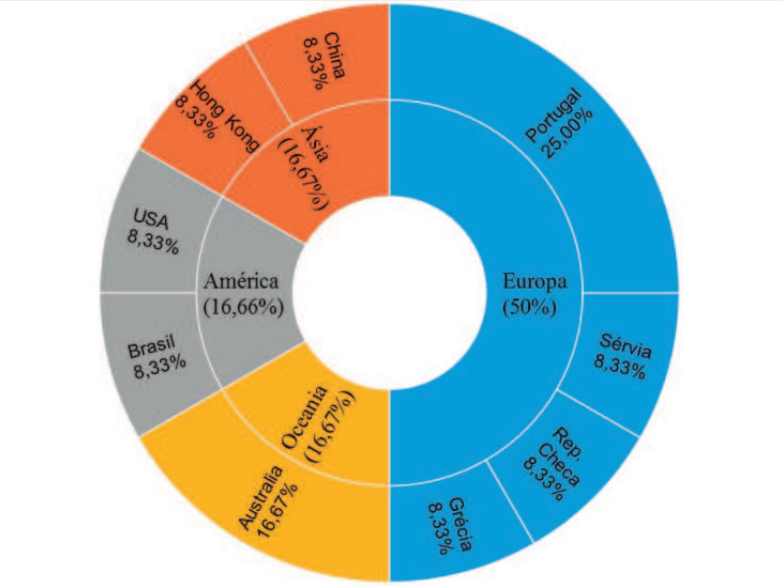


Figura 2. País de origem dos estudos.

A revista *Resources, Conservation & Recycling* apresenta 25% dos estudos, seguido pelas revistas *Journal of Cleaner Production*, *Journal of Building Engineering* e *Waste Management*, todas com 16,67% (Figura 3).

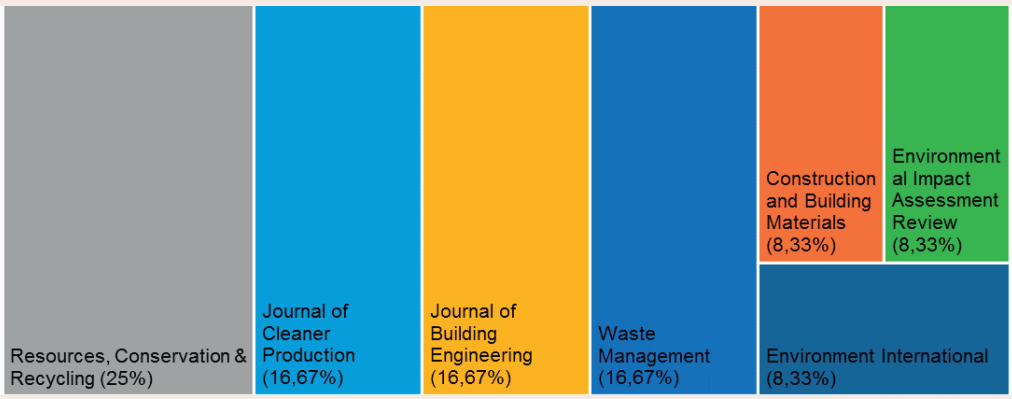


Figura 3. Revistas onde os estudos foram publicados.

A metade das publicações pertence aos anos de 2020 e 2021 (50%), mostrando que o tema tem relevância nos últimos anos e é bastante recente (Figura 4).

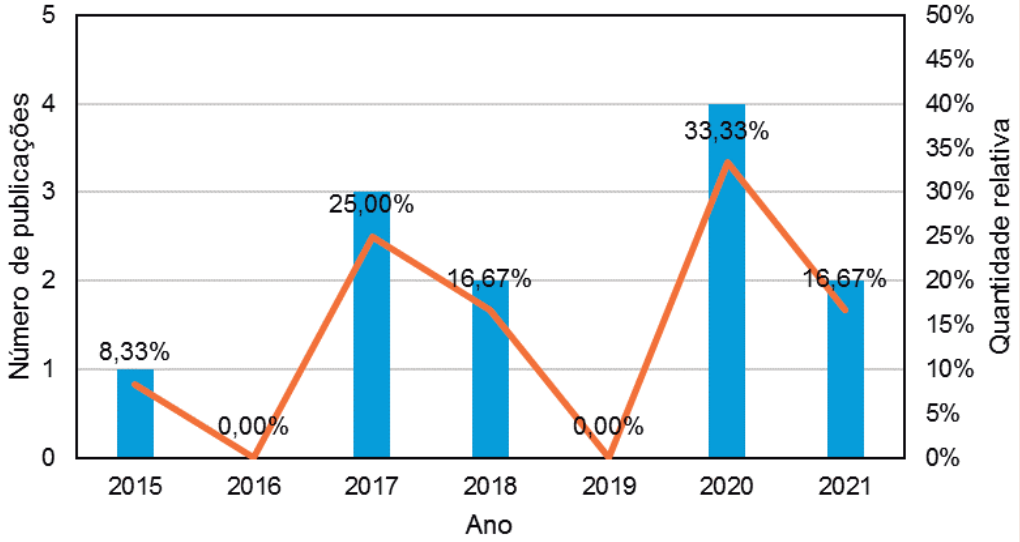


Figura 4. Data das publicações.

A Tabela 1 apresenta os materiais utilizados e aplicações reportadas nos trabalhos estudados. A cinza volante se destaca como o MCS mais utilizado e o concreto como a aplicação mais analisada.

Autores	Materiais		Aplicações
	MCS*	Agregado	
Souza et al. (2021)	EGAF, CV, CCA, CBC, RPPO	AR	Concreto
Meek et al. (2021)	CV, SA, EGAF, Cal Hidratada	AR	Materiais de terra compactada
Hossain et al. (2020)	SMC, CVIRSU, CVP, EGAF, CLEI, PV	AR	Materiais de preenchimento e blocos
Moro et al. (2020)	Nanopartículas de TiO_2	AR	Argamassa
Kurda et al. (2020)	CV	AR	Concreto
Fort e Cerny (2020)	Tijolos residuais em pó e álcali ativado	AR	Cimento/Blocos/ AR
Kurda; Silvestre e Brito (2018)	CV	AR	Concreto
Arrigoni et al. (2018)	CV	AR	Materiais de terra estabilizada
Marinkovic et al. (2017)	CV, CV ativada por álcali	AR	Concreto
Hossain; Xuan e Poon (2017)	Resíduo de Lama de Concreto	AR	Blocos de concreto
Kurda et al. (2017)	CV	AR	Concreto
Anastasio; Liapis e Papayianni (2015)	CV Balcária	AR	Pavimento de concreto

*CV-Cinza Volante; SA-Sílica Ativa; EGAF-Escória Granulada de Alto Forno; CCA-Cinza de casca de arroz; CBC-Cinza de bagaço de Cana-de-açúcar; RPPO-Resíduos do Processamento de Pedras Ornamentais; CLEI- Cinzas de Lodo de Esgoto Incineradas; CVP-Cinza Volante Pulverizada; PV--Pó de Vidro; SMC-Sedimentos Marinhos Contaminados; CVIRSU-Cinzas Volantes de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos.

Tabela 1. Resumo dos estudos analisados

3.2 DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

Nesta fase, são apresentados: o objetivo do estudo, a definição da unidade funcional, o sistema do produto estudado, os limites do sistema, os insumos e os procedimentos de atribuição dos produtos. Na Tabela 2 são detalhados os aspectos relacionados à fase de definição do objetivo e escopo da metodologia de ACV.

Todos os trabalhos definem o objetivo do estudo da ACV, por separado do objetivo do artigo. Em geral, os estudos têm como objetivo avaliar os impactos ambientais de concretos e argamassas produzidas com MCS e AR, utilizando a metodologia ACV.

Pode-se verificar que quase todos os trabalhos consideram o limite do sistema "berço ao portão" e apenas um "berço ao berço". Isso significa que os impactos ambientais são considerados desde a produção da matéria-prima até a saída da fábrica, em geral. É importante mencionar que este limite do sistema é escolhido provavelmente devido ao desconhecimento do comportamento do produto até o final de sua vida útil (LO et al., 2021).

Em relação à unidade funcional, a mais utilizada é a massa (kg e/ou ton), seguida da volumétrica (m^3). A seleção da unidade funcional é essencial para comparar e ter precisão nos resultados (GUO et al., 2020). Por esse motivo, recomenda-se selecionar uma unidade funcional adequada para comparar os resultados com outros estudos de ACV (HISCHIER; REICHART, 2003).

Quando se analisa a alocação, observa-se que a maioria dos estudos desconsideram esse aspecto e poucos o fazem, seja em massa e/ou economicamente. Porém, na utilização de MCS e AR, recomenda-se não utilizar alocação, uma vez que muitos destes materiais já são coprodutos (com algum valor comercial) e utilizados como substitutos de outros materiais (BÖSCH; HELLWEG, 2010).

Autores	Norma	Unidade funcional	Fronteira do sistema			Alocação		
			Berço ao portão	Berço ao túmulo	Berço ao berço	Sem alocação	Em massa	Econômica
Souza et al. (2021)	Não menciona	1 kg	Sim	-	-	Sim	-	-
Meek et al. (2021)	ISO 14044 EN 15804	1 kg	Sim	-	-	-	Sim	Sim
Hossain et al. (2020)	ISO 14040 ISO 14044	1 ton	Sim	-	-	-	-	Sim
Moro et al. (2020)	ISO 14040 ISO 14044	1 m^3	Sim	-	-	Sim	-	-
Kurda et al. (2020)	EN 15804 ISO 14040	1 m^3	Sim	-	-	Sim	-	-
Fort e Cerny (2020)	Não menciona	1 ton	Sim	-	-	Sim	-	-
Kurda; Silvestre e Brito (2018)	ISO 14040 EN 15804	1 m^3	Sim	-	-	Sim	-	-

Continua...

Continua...

Autores	Norma	Unidade funcional	Fronteira do sistema			Alocação		
			Berço ao portão	Berço ao túmulo	Berço ao berço	Sem alocação	Em massa	Econômica
Arrigoni et al. (2018)	ISO 14040	1 kg 1 m^2	Sim	-	-	Sim	-	-
Marinkovic et al. (2017)	ISO 14040	1 m^3 1,1 m^3	Sim	-	-		Sim	Sim
Hossain; Xuan e Poon (2017)	ISO 14040 ISO 14044	1 kg	Sim	-	-	Sim	-	-
Kurda et al. (2017)	ISO 14040 EN 15804	1 m^3	Sim	-	-	Sim	-	-
Anastasio; Liapis e Papayianni (2015)	ISO 14040	1 km (via urbana)	-	-	Sim	Sim	-	Sim

Tabela 2. Aspectos da definição do objetivo e escopo dos estudos.

3.3 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)

O ICV envolve a coleta de elevada quantidade de informação, uma vez que representa a relação entre os processos da unidade e seus impactos ambientais por meio de fluxos de energia, materiais e emissões. Nesse sentido, recomenda-se o uso de banco de dados de ICV, os quais podem variar por país (DONG et al., 2015; HOSSAIN et al., 2020).

No presente estudo, observa-se que os dados foram adquiridos de forma primária no 66,67% dos estudos (diretamente as fontes). Mas, na maioria dos casos, foram utilizadas bases de dados (75%) e literatura (75%).

As bases de dados mais utilizadas são *Ecoinvent* e ELCD (*European Reference Life Cycle Database*), sendo as mais reconhecidas e utilizadas na literatura (VIEIRA; CALMON; COELHO, 2016). O uso de um banco de dados ajuda a uma aplicação de ACV mais eficiente, uma vez que uma grande quantidade de dados é necessária. Muitos programas já contêm bases de dados integradas que otimizam o processo, como o *SimaPro* e o *OpenLCA*, frequentemente utilizados nos estudos analisados.

3.4 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV)

A AICV consiste em uma das etapas mais importantes para execução da metodologia ACV e são diversificadas as categorias de impacto ambiental que podem ser analisadas. A Tabela 3 mostra as categorias de impacto que foram encontradas

nesta revisão de literatura, bem como são apresentados as unidades e siglas que são utilizadas no estudo.

Categoria de impacto	Sigla utilizada	Unidade
Potencial de aquecimento global	GWP	kg CO_2 eq
Potencial de depleção abiótica	ADP	kg Sb eq
Potencial de acidificação	AP	kg SO_2 eq
Potencial de eutrofização	EP	kg PO_{4-3} eq
Potencial de criação fotoquímica de ozônio	POCP	kg C_2H_4 eq
Energia não renovável	N-Re	MJ primário
Destruição da camada de ozônio	ODP	kg CFC_{-11} eq
Inorgânicos respiratórios	RI	kg PM2.5 eq
Extração mineral	ME	MJ excedente
Carcinógenos	CA	kg C_2H_3Cl eq
Não-carcinógenos	NCA	kg C_2H_3Cl eq
Ocupação do solo	LO	$m_2$org.arabl
Acidificação aquática	AA	kg SO_2 eq
Ecotoxicidade terrestre	TE	kg TEG soil
Ecotoxicidade aquática	AE-Tox	kg TEG water
Eutrofização aquática	AE	kg PO_4 P-lim
Radiação ionizante	IA	-
Acidificação/ nitrificação terrestre	TAN	kg SO_2 eq
Depleção abiótica de combustíveis fósseis	ADP_FF	MJ

Tabela 3. Categorias de impacto ambiental

A Tabela 4 apresenta a síntese da AICV realizada nos estudos

Autores	Método AICV	Categorias de impacto	Software
Souza et al. (2021)	IPCC	GWP, AP, EP, ODP, AE-Tox	-
Meek et al. (2021)	IPCC	GWP	*AusLCI database* v2.8
Hossain et al. (2020)	IMPACT 2002 +	GWP, AP, N-Re	*SimaPro*
Moro et al. (2020)	TRACI	GWP, AP, EP, POCP, N-Re, ODP	-
Kurda et al. (2020)	NativeLCA	GWP, N-Re	*SimaPro*

Continua...

Continua...

Fort e Cerny (2020)	IMPACT 2002+ (versão 3.5)	***Midpoint:*** GWP, AA, AE-Tox, AE, CA, IA, LO, ME, NCA, N-Re, ODP, POCP, RO, TAN e TE ***Endpoint:*** Saúde humana, qualidade do ecossistema, mudança climática e recursos	*SimaPro*
Kurda; Silvestre e Brito (2018)	CML	GWP, ADP, POCP, AP, EP, N-Re	*SimaPro*
Arrigoni et al. (2018)	ReCiPe2016	GWP, LO, Consumo de água	*SimaPro*
Marinkovic et al. (2017)	CML	GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADP_FF	*Excel*
Hossain; Xuan e Poon (2017)	IMPACT 2002+	GWP, N-Re, RI, AP, EP, ODP	*SimaPro*
Kurda et al. (2017)	CML	GWP	*SimaPro*
Anastasiou; Liapis e Papayianni (2015)	Método de impacto GWP do IPCC (2007)	GWP	*SimaPro*

*****IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*; TRACI - *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts*; KOLID - *Korean Life Cycle Impact Assessment Method based on Damage-Oriented Modeling*

Tabela 4. Dados da AICV

Entre os métodos do impacto de ciclo de vida apresentados na Tabela 4, os que se destacam em grande parte na utilização são: IMPACT 2002+ e Método CML (este último recomendado pela EN 15804:2012). Quanto aos softwares utilizados, o *SimaPro* foi a opção mais escolhida pelos pesquisadores com 66% (8/12) dos estudos, provavelmente por ser um software com versão educacional gratuita em muitos países e já disponibilizar o banco de dados do Ecoinvent.

Na Tabela 4 também pode ser observado que a categoria de impacto utilizada por todos os autores foi o potencial de aquecimento global (GWP), isto está associado ao fato que os materiais cimentícios possuem uma emissão significativa de dióxido de carbono (CO_2) e esta tem sido uma das maiores preocupações ambientais do setor e do mundo. Porém, mesmo que o GWP seja importante para qualquer estudo deste setor, apenas a análise dessa categoria não será suficiente para uma avaliação ambiental mais consistente. Dessa forma, a maioria dos estudos apresentados optaram por fazer correlações com outras categorias de impacto, principalmente quanto à avaliação do Potencial de Depleção Abiótica (ADP), Potencial de Acidificação (AP), Potencial de Eutrofização (EP), Destruição da Camada de Ozônio (ODP), Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio (POCP) e Energias Não Renováveis (N-Re).

3.5 INTERPRETAÇÃO

A interpretação consiste em avaliar os resultados encontrados através do ICV e AICV. Essa etapa geralmente fornece algumas análises, conclusões e recomendações.

Hossain, Xuan e Poon (2017) analisaram a aplicação de resíduos de lama de concreto em blocos de concreto para paredes divisórias por meio da ACV. Esses resíduos foram incorporados ao material em forma de MCS e como agregado reciclado. Os autores concluíram que os blocos reciclados chegaram a emitir 66% menos gases de efeito estufa (na categoria GWP), a consumir 59% menos energia não renováveis (N-Re), ainda, o impacto da destruição da camada de ozônio chegou a 78% de redução, produzindo dessa forma menos impactos ambientais do que blocos convencionais em todas categorias. Em resumo, explica-se que a redução das distâncias de transporte proporcionada pelo uso de agregado reciclado, somado aos impactos evitados pela eliminação de RCD e redução dos impactos provenientes da produção de cimento proporcionam melhoria do desempenho ambiental dos blocos produzidos.

Quanto à categoria ADP, Kurda, Silvestre e Brito (2018) destacam uma importante contribuição. Os autores indicam que incorporar somente agregado reciclado não é a solução para diminuição do ADP total do concreto, pois com uma adição de 100% de AR, o concreto diminuiu cerca de 2% em ADP. No entanto, quando houve a inclusão de cinza volante em substituições de 30% e 60% ao cimento, verificou-se a eficiência do MCS com diminuições de aproximadamente 30% e 60%, respectivamente. Além disso, o desempenho ambiental em conjunto (agregado reciclado e cinza volante) foi eficiente na categoria GWP, onde mudou linearmente com a soma de cada efeito individual. Fato também verificado por Arrigoni et al. (2018), onde com a substituição dos agregados naturais por AR e inclusão de cinzas volantes (teor de cimento para 5%), sem comprometer a resistência mecânica ou durabilidade, houve uma redução líquida das emissões GEE de até 15 kg CO_2-eq./m^2.

A análise de sensibilidade é recomendada como forma de redução nas incertezas dos resultados de AICV. Nesse sentido, Marinkovic et al. (2017) optaram por fazer uma análise de sensibilidade pautada na influência de possíveis diferenças na resistência à carbonatação e comportamento deformacional à longo prazo dos concretos. Outros autores também realizaram análises de sensibilidade, porém consideraram apenas para as distâncias de transportes, isso inclui os estudos de Kurda, Silvestre e Brito (2018), Moro et al. (2020) e Anastasiou, Liapis e Papayianni (2015).

Kurda, Silvestre e Brito (2018) atribuíram em seu estudo a redução de impactos à distância de transporte das usinas, com o agregado natural a uma distância de 65 km e agregado reciclado de 9 km. Além disso, os autores verificaram que, embora a distância da fábrica de cinza volante seja quase três vezes maior que a fábrica de cimento, o N-Re do concreto diminuiu entre 19% e 38% com a sua substituição ao cimento. Isso se deve ao fato de que o N-Re para produzir cinza volante (0,043 MJ) é 86 vezes menor que o N-Re do cimento (3,7 MJ). Estudos como Anastasiou, Lia-

pis e Papayianni (2015) recomendam o uso de agregado de escória de aço apenas para distâncias mais curtas. Para Arrigoni et al. (2018) os benefícios ambientais provenientes da utilização de materiais reciclados podem ser prejudicados pelas condições locais, como por exemplo, distâncias mais longas. Nesse caso, pode até ser mais sustentável para algumas categorias de impacto, como potencial de aquecimento global, a utilização de agregados naturais.

4. CONCLUSÕES

Neste estudo foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) da aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para avaliar os impactos ambientais da utilização de Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) e Agregados Reciclados (AR) em materiais de construção como concretos e argamassas. Observou-se que o uso de MCS e AR geram menos impactos ambientais em comparação ao concreto tradicional ou materiais de construção convencionais, em destaque, na maioria dos estudos, Potencial de Aquecimento Global seguido por Potencial de Depleção Abiótica e Potencial de Acidificação. Os métodos utilizados nos estudos quantificam apenas os efeitos intermediários das categorias de impacto (*midpoint*).

Substituições de agregados naturais por AR podem trazer maiores benefícios ambientais, mas que vai depender muito das distâncias de transporte utilizadas, portanto, é difícil mensurar e/ou comparar diferentes estudos de ACV com a inclusão de agregados reciclados. Já os MCS contribuem positivamente no desempenho ambiental de concretos e argamassas, muitas vezes, independente da distância de transporte.

É necessária mais pesquisa dos impactos ambientais no emprego de AR para consolidar seu uso, uma vez que não há consenso de resultados por serem influenciados pela região, tecnologia e considerações específicas dos autores. Os impactos evitados destes materiais também precisam começar a ser avaliados. Além disso, é importante que estudos que avaliam os impactos ambientais de MCS e AR, em conjunto, apresentem de forma desagregada o potencial de redução que cada material pode trazer. Finalmente, questões atreladas ao desempenho e durabilidade destes concretos e argamassas contendo MCS e AR também precisam avançar e serem relacionadas com a ACV.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANASTASIOU, E. K.; LIAPIS, A.; PAPAYIANNI, I. (2015). Comparative life cycle assessment of concrete road pavements using industrial by-products as alternative materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 101, p. 1–8.

ARRIGONI, A. et al. (2018). Rammed Earth incorporating Recycled Concrete Aggregate: a sustainable, resistant and breathable construction solution. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 137, n. May, p. 11–20.

BÖSCH, M.; HELLWEG, S. (2010). Identifying improvement potentials in cement production with life cycle assessment. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 23, p. 9143-9149.

BRAGA, A. M.; SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. (2017). Compared environmental and economic impact from cradle to gate of concrete with natural and recycled coarse aggregates. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 529–543.

CALDAS, L. R. et al. (2021). Environmental impact assessment of wood bio-concretes: Evaluation of the influence of different supplementary cementitious materials. **Construction and Building Materials**, v. 268.

COLANGELO, F. et al. (2018). Life Cycle Assessment (LCA) of different kinds of concrete containing waste for sustainable construction. **Buildings**, v. 8, n. 5.

DONG, Y.; NG, S.; KWAN, A.; WU, S. (2015). Substituting local data for overseas life cycle inventories – a case study of concrete products in Hong Kong. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 414–422.

FORT, J.; CERNY, R. (2020). Transition to circular economy in the construction industry: Environmental aspects of waste brick recycling scenarios. **Waste Management**, v. 118, p. 510–520.

GUO, Z. et al. (2020). Life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates - A case study in China. In **Advances in Construction and Demolition Waste Recycling**. Woodhead Publishing, p. 515-535.

HISCHIER, R.; REICHART, I. (2003). Multifunctional electronic media-traditional media. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 8, n. 4, p. 201-208.

HOSSAIN, M. et al. (2020). Evaluating the environmental impacts of stabilization and solidification technologies for managing hazardous wastes through life cycle assessment: A case study of Hong Kong. **Environment International**, v. 145, 106139.

HOSSAIN, M.; POON, C.; DONG, Y.; XUAN, D. (2018). Evaluation of environmental impact distribution methods for supplementary cementitious materials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 597–608.

HOSSAIN, U.; XUAN, D.; POON, C. S. (2017). Sustainable management and utilization of concrete slurry waste : A case study in Hong Kong. **Waste Management**, v. 61, p. 397–404.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (2006). **ISO 14040**, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

KURDA, R. et al. (2017). 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.

KURDA, R.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. (2020). A comparative study of the mechanical and life cycle assessment of high-content fly ash and recycled aggregates concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 29, 101173.

KURDA, R.; SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. (2018). Life cycle assessment of concrete made with high volume of recycled concrete aggregates and fly ash. **Resources,**

Conservation and Recycling, v. 139, n. July 2018, p. 407–417.

LIMA, P. R. et al. (2017). Potentialities of cement-based recycled materials reinforced with sisal fibers as a filler component of precast concrete slabs. **Sustainable and Nonconventional Construction Materials using Inorganic Bonded Fiber Composites**, p. 399–428.

LO, F.; LEE, M.; LO, S. (2021). Effect of coal ash and rice husk ash partial replacement in ordinary Portland cement on pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 286, 122947.

MARINKOVIC et al. (2017). Environmental assessment of green concretes for structural use. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 633–649.

MEEK, A.; ELCHALAKANI, M.; BECKETT, C.; GRANT, T. (2021). Alternative stabilised rammed earth materials incorporating recycled waste and industrial by-products: Life cycle assessment. **Construction and Building Materials**, v. 267, 120997.

MORO, C.; FRANCIOSO, V.; SCHRAGER, M.; VELAY-LIZANCOS, M. (2020). TiO2 nanoparticles influence on the environmental performance of natural and recycled mortars: A life cycle assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 84, 106430.

ROSADO, L. P. et al. (2017). Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 634–642.

SOUZA, A. et al. (2021). Application of the desirability function for the development of new composite eco-efficiency indicators for concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 40, 102374.

VIEIRA, D. R.; CALMON, J. L.; COELHO, F. Z. (2016). Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review. **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 656–666.

ZHANG, Y. et al. (2019). A review of life cycle assessment of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 209, p. 115–125.