



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA A AGREGADOS NATURAIS E AGREGADOS RECICLADOS¹

GONZAGA, Nathália Lins (1); ARAÚJO, Maria Luiza Ramalho de (2); NETO, Antônio Acácio de Melo (3)

(1) Universidade Federal de Pernambuco; nathalia.lgonzaga@ufpe.br

(2) Universidade Federal de Pernambuco; luiza.ramalho@ufpe.br

(3) Universidade Federal de Pernambuco; antonio.meloneto@ufpe.br

RESUMO

A velocidade de crescimento das cidades e o ritmo acelerado de produção e consumo de materiais levantam a problemática a respeito da exploração e limitação dos recursos naturais. Neste contexto, a utilização de agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD), em substituição aos agregados naturais, tanto em concretos quanto em argamassas, passa a ser uma alternativa para a redução dos impactos gerados pelo setor construtivo. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi comparar, de forma quantitativa, os impactos ambientais associados à produção e ao transporte de um quilograma de agregados reciclados e naturais, utilizando a metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) apoiada pelo software OpenLCA v1.8. A fronteira do sistema adotada foi a "cradle to gate" e o método de avaliação de impactos (AICV) o CML 2001. Resultados demonstraram que o agregado reciclado possuiu melhor desempenho ambiental em todas as categorias analisadas, com reduções de mais de 40% quando comparado ao agregado miúdo natural e 60% quando comparado ao gráudo natural. Destaca-se também a influência do transporte nos resultados de impactos obtidos, chegando a representar, para os agregados miúdos, mais de 64% dos impactos totais, o que reforça a necessidade de utilização de produtos extraídos localmente.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida (ACV). Agregados reciclados. Impactos ambientais.

ABSTRACT

The speed on which cities are growing and the accelerated rate of production and consumption raises an issue regarding exploration and limitation of natural resources. In this context, the use of recycled aggregates from construction and demolition wastes in the composition of concretes and mortars, replacing natural aggregates, becomes an alternative in favor of reducing the environmental impacts of the construction sector. This work has the objective to compare, in a quantitative way, the environmental impacts associated with the production and transport of one kilogram of recycled and natural aggregates, using the life cycle assessment methodology (LCA) supported by the OpenLCA software v1.8. The system frontier was "cradle to gate" and the life cycle impact assessment method (LCIA) was the CML 2001. Results demonstrated that the recycled aggregate had better environmental performance in all the analyzed categories, with reductions of more than 40% when compared to the sand and 60% when compared to the gravel. It's important to mention the influence of transport on the results of impacts obtained, even representing, for sand, more than 64% of the total impacts, which reinforces the need to use locally produced/extracted products.

Keywords: Life cycle assessment (LCA), Recycled aggregates, Environmental impacts.

¹ GONZAGA, Nathália Lins; ARAÚJO, Maria Luiza Ramalho de; NETO, Antônio Acácio de Melo. Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada a Agregados Naturais e Reciclados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2014), a indústria da construção civil é o setor que mais consome matérias-primas não-renováveis no país, com destaque para os agregados naturais, basicamente areia e brita. Segundo a ANEPAC (2019), em 2019, a produção anual de agregados no Brasil foi de cerca de 514 milhões de toneladas. Além da grande exploração desses recursos, o volume de resíduos sólidos gerados pelo setor é alto. Segundo a ABRELPE (2017), em 2017 foram geradas 214.868 toneladas de resíduos de sólidos urbanos (RSU) por dia, sendo aproximadamente 58% provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD).

Desta forma, a utilização de agregados reciclados, provenientes de RCD, na composição de concretos e argamassas, em substituição aos agregados naturais, passa a ser uma alternativa para a diminuição dos impactos gerados pelo setor.

Trabalhos anteriores se propuseram a estudar a viabilidade técnica da incorporação de agregados reciclados provenientes de RCD em concretos e argamassas, avaliando suas propriedades no estado fresco, suas propriedades mecânicas e de durabilidade, como os de Amorim (2016), Cordeiro et al. (2017) e Angelin et al. (2018). No entanto, poucos são os estudos a respeito do perfil ambiental desses agregados.

Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi comparar, de forma quantitativa, os impactos ambientais associados à produção e ao transporte de agregados naturais e reciclados utilizando a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Esta ferramenta é capaz de oferecer suporte ferramental para mapear e quantificar os impactos da produção e do consumo de um material ao longo do seu ciclo de vida e auxiliar na escolha de materiais ambientalmente mais vantajosos para aplicações específicas (BORGES, 2014).

O software utilizado para a análise foi o *OpenLCA* v1.8. A unidade funcional escolhida foi o quilograma e a fronteira do sistema seguiu a abordagem “cradle to gate” (do berço ao portão), onde foram considerados os impactos provenientes da extração dos agregados naturais (areia e brita), beneficiamento do resíduo reciclado e transporte de todos os materiais até o destino final. A avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) se deu através do método CML 2001 com as seguintes categorias de impacto: mudanças climáticas (GWP100), depleção de recursos abióticos (ADP), depleção do ozônio estratosférico (ODP), eutrofização (EP), acidificação (AP) e formação de foto-oxidantes (POCP).

2 METODOLOGIA

A ACV é regida pela NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009a) que apresenta os princípios e a estrutura e pela NBR ISO 14.044 (ABNT, 2009b) na qual são definidos os requisitos e orientações. Essas normas fornecem os subsídios necessários para aplicação da metodologia, que é subdividida em quatro fases: definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação dos impactos e interpretação dos resultados.

O escopo inclui o sistema de produto a ser estudado, a unidade funcional, a fronteira do sistema e suas limitações. Já na fase de análise de inventário é realizada a coleta dos dados de entrada e saída do produto em estudo. Na fase de avaliação de impacto (AICV), os dados obtidos na etapa anterior são agrupados de acordo com categorias de impacto, auxiliando a interpretação de resultados que é a etapa final (ABNT, 2009a).

2.1 Definição de objetivo e escopo

O objetivo principal dessa ACV é avaliar de forma quantitativa os impactos ambientais da produção de um quilograma de agregado reciclado e compará-los com a produção de um quilograma de agregado natural.

O software utilizado foi o *OpenLCA* v1.8 e os dados foram retirados da base de dados *Ecoinvent* v3.6. A unidade funcional escolhida para estudo foi o quilograma e a fronteira do sistema utilizada seguiu a abordagem *cradle-to-gate* (“do berço ao portão”), onde para os agregados naturais foram considerados os impactos da extração de matérias-primas, produção e transporte até o destino final. Por sua vez, para os agregados reciclados foram considerados apenas seu beneficiamento e transporte, descartando os impactos associados ao seu uso anterior.

Os resíduos reciclados foram obtidos através do resíduo de fabricação de blocos estruturais de concreto da obra de construção do Residencial Bosque dos Flamboiões, localizada no bairro do Benedito Bentes, Maceió, Alagoas e transportados de caminhão até o laboratório, onde os mesmos foram beneficiados. O agregado graúdo natural (brita) foi fornecido por uma pedreira localizada em Rio Largo, Alagoas e o agregado miúdo natural (areia quartzosa) foi extraído da dragagem do Rio Mundaú. Na Tabela 1 estão relacionados os materiais, o local de obtenção e a distância estimada para o laboratório. Todas as distâncias foram estimadas utilizando o Google Maps e os percursos foram feitos de caminhão.

Tabela 1 – Distância de transporte dos materiais

Material	Local de obtenção	Distância (km)
Areia (dragagem do rio)	Rio Mundaú	70
Brita (rochas graníticas)	Rio Largo/AL	20
Resíduo reciclado	Obra Benedito Bentes	6

Fonte: Autores

2.2 Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)

Nesta etapa foram compilados e quantificados todos os fluxos de entradas (inputs) e de saídas (outputs), baseados na fronteira do sistema anteriormente definida. Os dados foram adquiridos através da base de dados *Ecoinvent* v3.6, estudos acadêmicos anteriores, medições no próprio laboratório e foram posteriormente inseridos no software *OpenLCA* v.1.8. Dentro do software foram criados três sistemas de produtos diferentes denominados agregado reciclado, agregado miúdo natural e agregado graúdo natural.

Para obtenção dos agregados reciclados foi necessário realizar o beneficiamento dos resíduos no próprio laboratório. Os processos utilizados foram a cominuição por britagem, utilizando um britador de mandíbulas, e por fim o peneiramento o vibratório a seco. Separou-se os agregados obtidos em miúdos e graúdos através do peneiramento vibratório utilizando a peneira de 4,75mm. O material retido foi considerado como agregado graúdo e o material passante como agregado miúdo. No entanto, neste estudo, ambos foram denominados de uma forma geral como agregados reciclados uma vez que as distâncias de transporte e os gastos

energéticos foram os mesmos.

Para efeito de cálculo os impactos associados aos agregados reciclados se resumiram à fase de transporte e beneficiamento. Porém, devido à falta de informações a respeito do consumo de energia dos equipamentos utilizados para obter os agregados reciclados no laboratório, utilizou-se para simulação dados apresentados por Coelho e De Brito (2013) referentes ao consumo energético de uma unidade de beneficiamento de resíduos com capacidade de beneficiamento de 350 t/hora e consumo de 3,74 kWh/t. A tabela 2 apresenta o inventário de ciclo de vida dos agregados em estudo, explicitando os dados de entrada, as quantidades e as referências utilizadas na alimentação do software.

Tabela 2 – Inventário de ciclo de vida

Material	Montagem do material	Quantidade	Fonte de consumo de material e energia
Agregado miúdo natural	Sand quarry operation, extraction from river bed	1 kg	-
	Market for transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 3	70 kg*km	Google Maps
Agregado graúdo natural	Market for gravel, crushed	1 kg	-
	Market for transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 3	20 kg*km	Google Maps
Agregado reciclado	Market for eletricity, low voltage - BR	$3,74 \times 10^{-3}$ kWh/kg	Coelho e De Brito (2013)
	Market for transport, freight lorry 16-32 metric ton, EURO 3	6kg*km	Google Maps

Fonte: Autores

2.3 Avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV)

Apesar dessa ser uma etapa crucial para o sucesso da avaliação de ciclo de vida, a norma brasileira não define um método específico a ser aplicado. Desta forma, optou-se por escolher o método CML 2001, indicado pela norma inglesa EM 15804 (CEN, 2019) com as seguintes categorias de impacto: mudanças climáticas (GWP100), depleção de recursos abióticos (ADP), depleção do ozônio estratosférico (ODP), eutrofização (EP), acidificação (AP) e formação de foto-oxidantes (POCP).

3 RESULTADOS

Esta seção aborda a última fase da ACV: a interpretação dos resultados. Nela encontram-se descritos e comentados os impactos ambientais potenciais dos agregados em estudo e a influência do transporte nos valores totais obtidos.

3.1 Impactos potenciais dos agregados

Os valores de impactos potenciais dos agregados graúdo natural, miúdo natural e reciclado estão apresentados na Tabela 3. As comparações percentuais, para cada

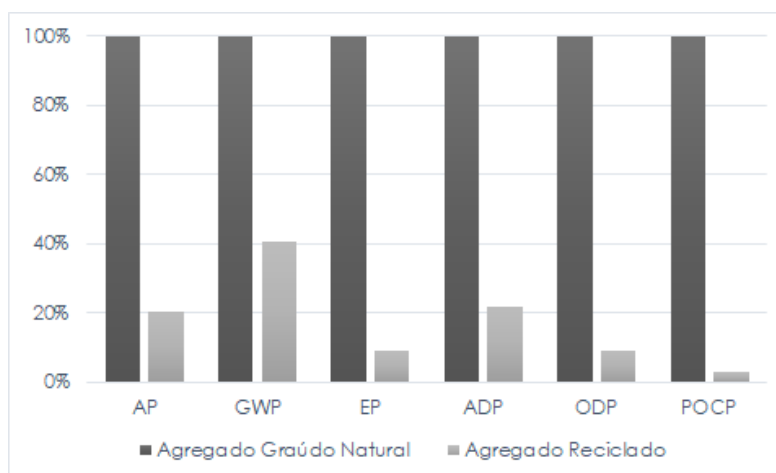
categoria de impacto, entre o agregado gráudo natural e o reciclado e entre o agregado miúdo natural e o reciclado, encontram-se nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Tabela 3 – Impactos ambientais potenciais por kg de agregado produzido e transportado

Categoria de Impacto	Referência Unitária	Agregada Graúdo Natural	Agregado Miúdo Natural	Agregado Reciclado
AP	kg SO ₂ -Eq	5,57E-05	2,89E-05	1,12E-05
GWP	kg CO ₂ -Eq	1,41E-02	1,63E-02	5,72E-03
EP	kg PO ₄ -Eq	1,36E-05	6,07E-06	1,21E-06
ADP	kg antimônio-Eq	9,55E-05	1,14E-04	2,06E-05
ODP	kg CFC-11-Eq	2,13E-09	2,93E-09	1,90E-10
POCP	kg etileno-Eq	4,11E-06	1,97E-06	1,12E-07

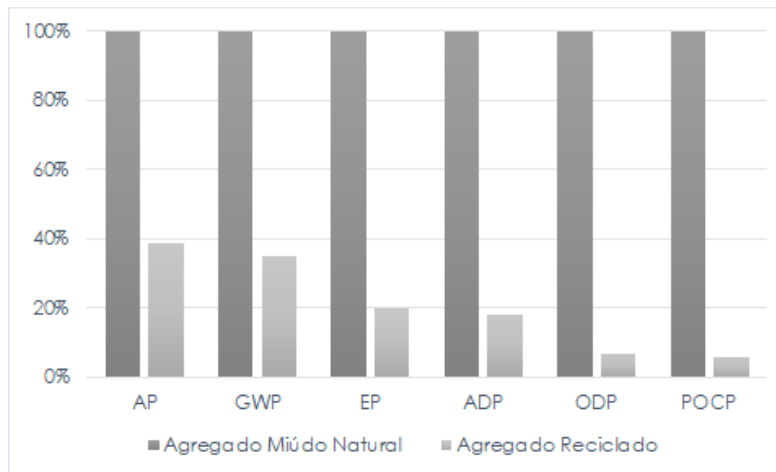
Fonte: Autores

Figura 1 – Comparação percentual dos impactos ambientais potenciais relativos à produção e ao transporte de 1 kg de agregado gráudo natural e agregado reciclado



Fonte: Autores

Figura 2 – Comparação percentual dos impactos ambientais potenciais relativos à produção e ao transporte de 1 kg de agregado miúdo natural e agregado reciclado



Fonte: Autores

Observou-se que o agregado reciclado possuiu melhor desempenho ambiental para todas as seis categorias analisadas, tanto em comparação ao agregado graúdo natural, quanto ao miúdo natural.

Os ganhos ambientais potenciais com a substituição dos agregados graúdos naturais pelos reciclados variaram entre 60 e 97%, com destaque para as categorias de eutrofização (EP), depleção da camada de ozônio (ODP) e formação de foto-oxidantes (POCP).

Já em comparação aos agregados miúdos naturais, os agregados reciclados apresentaram ganhos ambientais potenciais entre 39 e 94%, com destaque para as categorias de depleção de recursos abióticos (ADP), formação de foto-oxidantes (POCP) e depleção da camada de ozônio (ODP).

A ODP está relacionada à emissão ao ar de compostos químicos. A produção de areia e brita libera quantidade considerável de compostos halogenados no meio ambiente quando comparada à quantidade liberada para a produção da mesma quantidade de agregado reciclado, o que justifica a diminuição significativa dos impactos para essa categoria.

De forma geral, percebe-se que mesmo com os gastos energéticos associados ao beneficiamento dos resíduos de construção e demolição para a obtenção dos agregados reciclados e seu transporte, há um balanço ambiental positivo na sua utilização em substituição aos agregados naturais, quando se considera o quilograma de agregado produzido e transportado como unidade funcional.

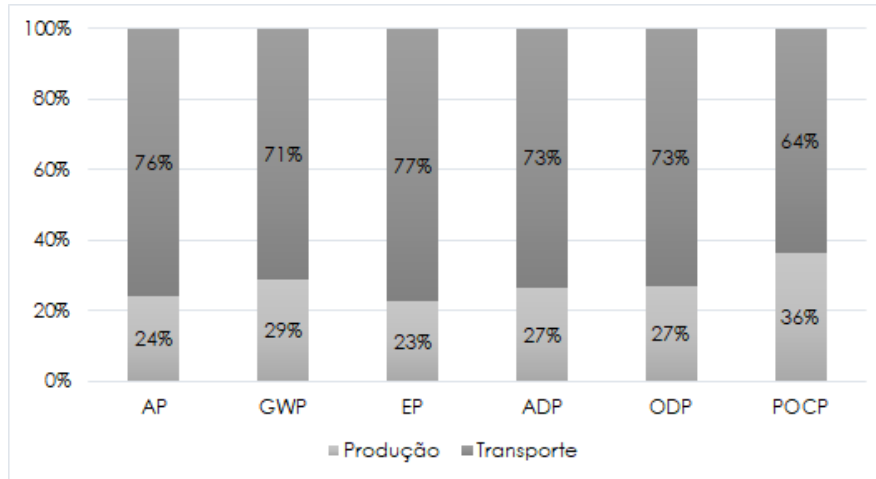
3.2 Influência do transporte nos impactos totais

É importante ainda ressaltar a influência do transporte nos resultados de impactos totais obtidos. As distâncias dos locais de produção dos agregados até o laboratório, foram de 6, 20 e 70 km para os agregados reciclado, graúdo natural e miúdo natural, respectivamente.

Quanto maiores as distâncias necessárias para obtenção dos agregados, maiores as contribuições do transporte nos impactos totais. Desta forma, optou-se por analisar as porcentagens de impacto relativas ao transporte do agregado miúdo natural, que

teve a maior distância percorrida para sua obtenção, para cada uma das seis categorias de impacto (Figura 3).

Figura 3 – Contribuição do transporte nos resultados de impactos obtidos para o agregado miúdo natural



Fonte: Autores

Nota-se que o transporte possui influência significativa em todas as categorias analisadas, representando entre 64 e 77% dos resultados de impactos totais obtidos. Com destaque para a eutrofização, acidificação e depleção de recursos abióticos, devido à queima de combustíveis fósseis (emissão de NO₂ e SO₂).

Desta forma, com a diminuição das jazidas nas proximidades das cidades, a utilização de agregados reciclados provenientes de obras próximas passa a ser uma alternativa para diminuição dos impactos oriundos do transporte e consequentemente dos impactos totais dos agregados. Atrelado à isso, o uso de veículos de baixa emissão e modais mais eficientes também podem auxiliar nessa redução.

4 CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia de avaliação de ciclo de vida possibilitou a comparação entre o desempenho ambiental da produção e transporte de um quilograma de agregados naturais e reciclados. Os impactos dos agregados reciclados se resumiram ao transporte e beneficiamento.

Observou-se que os impactos relacionados aos agregados reciclados foram menores que os dos agregados grúdo e miúdo natural para todas as seis categorias de impacto analisadas, com reduções entre 39 e 94% em relação à areia e 60 e 97% à brita.

Avaliou-se também a influência do transporte nos resultados de impactos obtidos. Percebeu-se que quanto maiores as distâncias percorridas entre os locais de produção dos agregados e o destino final, maior o percentual do transporte nos resultados finais. Para a areia, este percentual representou entre 64 e 77% dos valores totais de impactos.

Desta forma, com o esgotamento das jazidas nas proximidades das cidades, a utilização de agregados reciclados provenientes de obras próximas, passa a ser uma alternativa eficiente para redução dos impactos ambientais.

Por fim, cabe destacar que os concretos e argamassas com agregados reciclados não cumprem a mesma função que os com agregados naturais, uma vez que é esperado que o desempenho mecânico e durabilidade destes materiais apresentem variações. Para que os concretos com agregados reciclados obtenham o mesmo nível de desempenho mecânico dos concretos com agregados naturais, é necessário um consumo maior de cimento, para que a relação água cimento seja mantida, já que a demanda por água dos agregados reciclados é maior, devido a sua porosidade. Neste sentido, são necessários estudos adicionais onde estes fatores também sejam levados em consideração.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2017.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.
- _____. **NBR 14044**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.
- AMORIM, T. F. **Propriedades de durabilidade de concreto autoadensável leve com agregado reciclado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.
- ANGELIN, A. F. et al. **Propriedades no estado fresco e endurecido do concreto autoadensável modificado com agregados leves e reciclados**. São Paulo: Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 2018, v. 11, n.7,p. 76-94, jan./fev.
- ANEPAC - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. **Tendências para o mercado de agregados**. Revista Areia e Brita, 2020, ano 23, ed. 75, p. 28-33, abr.
- BORGES, P. H. R. et al. **Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II)**. Porto Alegre: Ambiente Construído, 2014, v. 14, n. 2, p. 153-168, abr./jun.
- CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15.804:2012+A2:2019** - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2019.
- COELHO, A; DE BRITO, J. **Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – Part I: Energy consumption and CO2 emissions**. 2013. Waste Management, v.33, p. 1258-1267.
- CORDEIRO, L. de N. P. et al. **Avaliação de processos de misturas de concretos com agregados graúdos reciclados**. Porto Alegre: Ambiente Construído, 2017, v. 17, n. 3, p. 255-265, jul./set.
- MMA MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE . **Estudo técnico aborda a sustentabilidade na construção civil**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/12421-noticia-acom-2014-11-585.html>>. Acesso em: 5 mai. 2020.