AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO_2 DE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL: COMPARAÇÃO ENTRE O USO DE AGREGADOS DE RCD E NATURAIS

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081158

CASARIN; ROBERTA P.[1]; ARAGÃO; LUCAS C.[1]; ZAPPE; ANNA PAULA S. [1]; THOMAS; MAURICIO[1]; PASSUELO; ANA CAROLINA B. [1]
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: ROBERTAPCASARIN@GMAIL.COM

RESUMO: O presente trabalho é um estudo de caso de pavimento de concreto permeável destinado a estacionamento construído para a aplicação da metodologia de realização de inventário de emissões de CO_2. O objetivo foi comparar dois métodos construtivos desse pavimento: um com agregado reciclado proveniente de corpos de prova da construção de uma ponte e outro com a hipótese de utilização de agregado natural de pedreira. Aponta-se que o uso de agregados naturais nesse tipo de pavimento aumenta o impacto nas emissões de CO_2 quando em comparação ao uso dos agregados reciclados, porém essa diferença torna-se diminuta ao considerar emissões do cimento.

PALAVRAS-CHAVES: Emissões de CO_2; agregados naturais; agregados reciclados; concreto permeável; impacto ambiental.

ABSTRACT: This study uses the CO_2 inventory emission methodology in the product and construction phases to compare two construction methods of permeable concrete pavement: the first one using recycled aggregate originated from specimens of the construction of a bridge, and the other, (as a hypothesis) if natural aggregate from a quarry was used. It is pointed that the use of natural aggregates in this type of pavement increases the CO_2 emission, when in comparison with the use of construction and demolition waste (CDW) aggregates. Nevertheless, that difference is low when the high emissions by cement are considered.

KEYWORDS: Permeable concrete; aggregate; CDW; environmental impact.

1 | INTRODUÇÃO

A crescente taxa de urbanização das cidades traz consigo o problema de ocupação de solos drenantes por materiais que tornam a superfície impermeável, aumentando a possibilidade de inundações e podendo provocar, no caso dos pavimentos, o efeito da aquaplanagem. Com a finalidade de minimizar estes efeitos, foi desenvolvido o concreto com a ausência de partículas finas em sua composição, permitindo a passagem de água até a profundidade da camada de base ou sub-base [1; 2; 3]. O pavimento permeável, apesar de substituir a estrutura de pavimento convencional, pode ser aplicado apenas para tráfego de baixa velocidade, veículos leves e caminhões com cargas não pesadas, sendo assim mais indicado para estacionamentos [4; 5; 6]. Isso se dá pelo fato de que a ausência dos finos na composição do pavimento reduz a capacidade deste em resistir a solicitações mais pesadas. Em contrapartida, deve-se buscar um equilíbrio entre

resistência e permeabilidade [7].

É importante ressaltar que os pavimentos drenantes devem corresponder os pré-requisitos mínimos estabelecidos pela norma NBR 16416 (ABNT, 2015)[8] na questão de permeabilidade e resistência à compressão. Sendo assim, conforme a norma, para esse tipo de concreto poroso usado para pavimentação é necessário um maior consumo de cimento quando se comparando com o pavimento de concreto convencional. Segundo Caldas *et al.* (2017) [9], outra questão peculiar em relação ao concreto permeável é a sua baixa relação água/cimento e o fato de não apresentar boa manutenibilidade no estado plástico, fazendo com que se perca rapidamente a capacidade de trabalhabilidade.

De acordo com este cenário, este estudo possui o objetivo de avaliar comparativamente os impactos ambientais causados pela produção de dois tipos de pavimentos permeáveis: o primeiro é o do pavimento construído, que foi constituído com agregado de resíduo de construção e demolição (RCD) obtido do processo de britagem de corpos de prova de concreto cilíndricos moldados em obra de construção de ponte; enquanto o outro tipo considerou a hipótese de que a construção do mesmo pavimento foi feita com agregado natural, extraído e britado dentro de pedreira. A principal motivação do trabalho foi avaliar até que ponto o material reciclado apresenta menor impacto ambiental do que a extração do material virgem, considerando apenas as fases de produto e construção, (assumindo-se que nas fases de uso e fim de vida a manutenção e o descarte serão os mesmos para ambos os tipos de pavimento permeável).

2 | METODOLOGIA

A implementação da metodologia de análise de inventário de emissões de CO_2 realizada neste estudo, baseada nas normas NBR 14040/14044 (ABNT, 2009)[10], foi dividida em quatro etapas: primeiramente a definição do objetivo e escopo; em segundo lugar foi realizada a análise do inventário; em seguida a quantificação dos impactos; e, por fim, a interpretação dos resultados.

2.1 Objetivo e escopo

Os objetivos do presente trabalho consistem em avaliar os impactos ambientais da fase de produto e construção de uma pista de estacionamento em concreto permeável produzido com 100% de agregado de concreto reciclado, através de ferramenta de avaliação do ciclo de vida, e comparar os impactos ambientais analisados com a construção de uma pista semelhante empregando apenas agregados naturais. As fases de uso, manutenção e fim de vida da estrutura não são consideradas, partindo-se do pressuposto que são bastante similares para qualquer das utilizações de pavimentos analisados, sejam com agregados de RCD ou naturais[11]. Os limites do sistema, portanto, estão estabelecidos a partir da obtenção das matérias-primas (com transporte na região metrotopolitana de Porto Alegre até o local da obra) e fim na construção do pavimento (Figura 1).

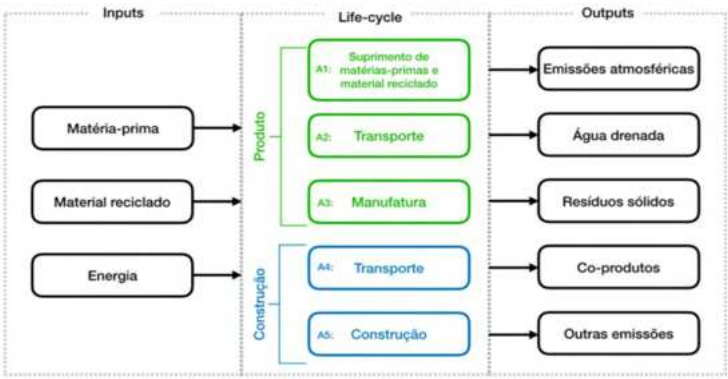


Figura 1 – Fronteiras do sistema: fases de produto (A1-A3) e de construção (A4 e A5)

Fonte: elaborado pelos autores

Com o intuito de identificar os impactos ambientais da pista de estacionamento de concreto permeável e compará-los com os impactos provocados por outros pavimentos, a unidade funcional estabelecida para a análise foi a de um metro linear de faixa de pista de rolamento de veículos, considerando que a largura total era de 3,5 m. A área total construída no estudo de caso foi de 3,5 m x 3,5 m, que é a faixa de concreto permeável com agregado reciclado construída no estudo de caso aqui analisado[11].

Para a avaliação desta unidade funcional foi considerado um sistema com subdivisões das camadas superiores do pavimento até as inferiores: a camada superficial e final de rolamento de concreto permeável (subsistema 1), seguida de base de brita tipo 1 com 30% de poros (subsistema 2), e camada de proteção constituída de areia (subsistema 3), que serve para não perfurar a última camada. Esta última camada é de lona (subsistema 4) - com a função de impermeabilizar o subleito e direcionar a água drenada para a tubulação coletora, sendo o sistema de coleta de águas considerado o subsistema 5 (Figura 2).

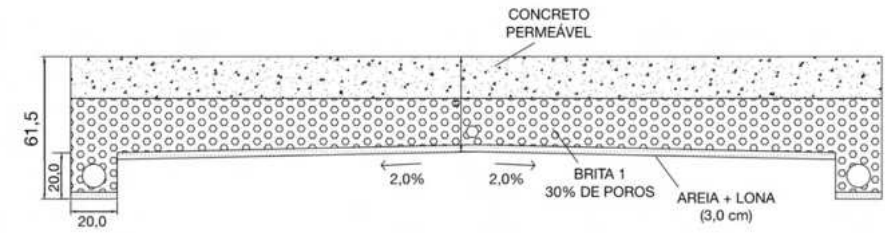


Figura 2 – Seção transversal do projeto da unidade funcional analisada

Fonte: elaborado pelos autores

2.2 Análise do inventário

Os conjuntos de dados gerais para realização do inventário de ciclo de vida (ICV), caracterizando o pavimento e quantificando cada uma das entradas nos subsistemas são dados específicos, fornecidos pela projetista da pista [11]. Informações referentes às distâncias de transporte consideradas foram também coletados com a projetista a partir da informação dos fornecedores e, posteriormente, calculados genericamente através do *Google Maps*. Conjuntos de dados referentes ao uso dos equipamentos são secundários e determinados conforme especificação nas fichas técnicas do maquinário utilizado.

2.3 Avaliação do impacto ambiental

Foi selecionada somente uma categoria de impacto ambiental, que foi aquecimento global, representada pelas emissões de dióxido de carbono equivalente (CO_2) – essa escolha se deu porque essa era a única categoria com dados disponíveis para todas as entradas, e também, porque é uma das mais significativas no impacto ambiental. Para análise do inventário foi utilizada como principal fonte de coleta de emissão de CO_2 a base de dados do ICE (*Inventory of Carbon and Energy – Embodied Carbon*) versão 3.0 (2019), que tem o foco em construção. Para os casos em que não foi possível encontrar os produtos ou materiais nessa base de dados, foram utilizadas as bases de dados do *Federal LCA Commons* e da *Ecoinvent* versão 3. Sempre que possível, os dados da plataforma Ecoinvent foram obtidos para o Brasil, ou, em segundo caso, para a região denominada "GLO (global)", que caracteriza o mundo inteiro. Todas as bases de dados estrangeiras são de livre acesso por *websites* e são utilizadas sob o pressuposto de que os conjuntos de dados encontrados nelas são representativos para o estudo de caso e suficientes para a análise. Dessa forma, os dados utilizados para a obtenção do CO_2 embutido são genéricos e primários, e calculados através do *software Excel* – tanto para o balanço dos fluxo de entada e saída quanto para o cálculo dos impactos ambientais.

Todos os processos apresentados são de primeiro plano, com exceção das distâncias de transporte que foram calculadas separadamente para cada produto levado até a obra, e convertidas em impacto do uso do diesel. Identifica-se como principal limitação do estudo a utilização de bases de dados externas em conjuntos de dados nacionais, que pode vir a não representar de maneira fidedigna a realidade do caso em análise. Outras limitações são: podem não fazer parte alguns processos de segundo plano de cada material ou produto que não estão considerados nas platafomas *LCA* e *Ecoinvent*; e alguns itens não encontrados nas bases de dados ou de grande detalhamento (como utensílios, ferramentas e materiais de fixação) não foram acrescentados na análise.

Ainda assim, a qualidade dos dados utilizados para este trabalho é considerada adequada para o objetivo da análise de emissões de CO_2 equivalente de um pavimento, de acordo com os requisitos da norma NBR ISO 14044 adotada.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme mencionado, todos os quantitativos de dados foram obtidos do trabalho

de Strieder (2020)[11], com os valores reais utilizados e calculados para a obra. Cabe novamente ressaltar que nesta etapa de inventário e obtenção de CO_2 embutido alguns componentes e procedimentos foram excluídos da análise porque não foram encontrados em nenhuma base de dados, sendo eles: lona para cura no subsistema 1; energia da placa vibratória no subsistema 2; e lona de impermeabilização no subsistema 4.

3.1 Comparação entre cenários

Pela análise das emissões totais, considerando-se todos os subsistemas, se obteve um resultado muito semelhante para os dois tipos de pavimento (Figura 3). Nota-se que há uma maior diferença de fato na camada de revestimento de concreto permeável (subsistema 1), e por esse motivo, escolheu-se analisá-la isoladamente nos dois pavimentos.

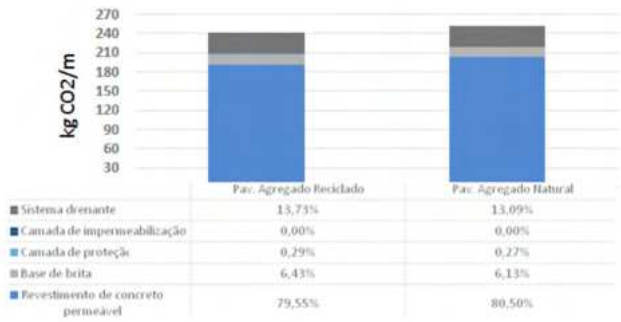


Figura 3 – Emissões totais (considerando todos os subsistemas)

Fonte: elaborado pelos autores

Pela análise isolada do subsistema 1 nos concretos permeáveis (Figura 4), nota-se que o transporte tem maior influência nas emissões de CO_2 para o caso de uso de agregado de RCD. No entanto, a contribuição nessas emissões é muito mais elevada em decorrência do uso dos materiais de construção que compõem o concreto. Além disso, o valor total das emissões dos constituintes é muito próximo nos dois diferentes tipos de agregados.

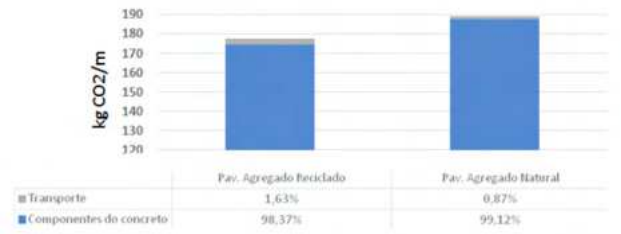


Figura 4 – Emissões do subsistema 1 (camada de concreto permeável)

Fonte: elaborado pelos autores

A partir disso, se fez uma análise considerando somente os componentes do concreto, na qual foi possível identificar o grande peso da contribuição do cimento nessas emissões. Em uma análise considerando que o pavimento é feito só de cimento e agregado (Figura 5), o cimento é responsável por aproximadamente 96% das emissões de CO_2 – valor praticamente idêntico para os dois tipos de agregados.

Sendo assim, optou-se pela análise direcionada somente ao agregado de fato, usado nos dois diferentes tipos de concreto permeáveis, a fim de verificar o efeito isolado de cada um deles. O resultado para a análise do agregado e do seu transporte para cada caso está apresentado na Figura 6.

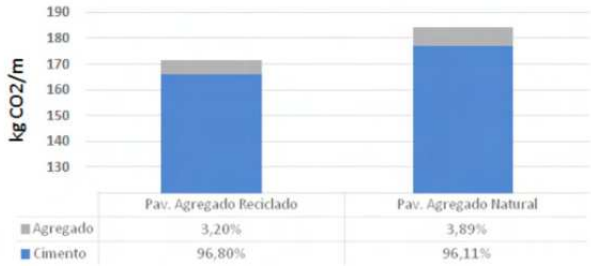


Figura 5 – Emissões do subsistema 1 (considerando somente o cimento e o agregado)

Fonte: elaborado pelos autores

Foi possível então notar que há um maior impacto do transporte do agregado de RCD até o local em que foi construído o pavimento do que em comparação com o transporte caso fosse utilizado o agregado natural. No entanto, o impacto total associado ao uso e transporte do agregado de RCD no concreto permeável ainda é menor do que no caso do uso de agregado natural. Esse fato pode ser explicado: a possível pedreira de onde seriam obtidos os agregados naturais é muito próxima do local onde foi construído o pavimento (aproximadamente 6,2 km).



Figura 6 – Emissões do subsistema 1 (considerando o agregado e o seu transporte)

Fonte: elaborado pelos autores

Considerando um cenário em que o RCD passasse a ter maior emissão de CO_2 do

que o agregado natural se calcula, por essa análise definida pelos critérios que um dos dois fatores quanto ao transporte deveria acontecer: a distância do transporte de RCD até o local da obra aumentasse em aproximadamente 2 km ou mais; ou a distância da pedreira até o local da obra reduzisse em apenas 0,150 km ou mais.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo possibilitou estudar o impacto das emissões de CO_2 para um estudo de caso de fases de produto e construção de um pavimento de concreto permeável utilizando agregados provenientes de resíduos de construção e demolição comparativamente ao uso de agregados naturais. Em primeira análise, verificando-se todos os componentes do pavimento, foi possível perceber que as proporções de impacto são bem semelhantes, mas na soma total da emissão de CO_2 é superior para o caso de concreto permeável com agregado natural.

De forma geral, em todas as análises feitas, o sistema de produto apresentou mais impacto quando considerando a utilização do agregado natural. No entanto, o trabalho mostrou que o impacto da utilização de cimento é significativamente superior ao do uso de agregados – da ordem de 96 vezes. Também foi possível concluir que, ao se verificar somente o impacto do cimento e dos agregados nesse pavimento, as emissões de CO_2 praticamente se igualam em porcentagem, para os dois casos. O trabalho de Caldas *et al.* (2017)[9], em que foi analisado o ciclo de vida em pavimentos de concreto drenante considerando diferentes unidades funcionais, também apontou a elevada contribuição do impacto do cimento em pavimentos de concreto permeáveis.

Por fim, verificou-se que pequenas variações nas distâncias de transporte podem ocasionar diferenças significativas nos resultados (quando a análise considera somente os agregados e o seu transporte). Sugere-se, para estudos mais conclusivos, que os agregados sejam estudados isoladamente considerando fluxos de segundo plano, ou aplicados em sistemas construtivos que não utilizem materiais de grande impacto ambiental, como aqui ocasionado pelo cimento.

REFERÊNCIAS

1. Wanielista, M.; Chopra, M.; Spence, J.; Ballock, C.; **Hydraulic Performance Assessment of Permeable Concrete Pavements for Stormwater Management Credit**. A final report prepared for the Florida Department of Transportation, 2007.

2. Lee, M. G.; Tia, M.; Chuang, S. H.; Huang, Y.; Chiang, C. L. **Pollution and Purification Study of the Permeable Concrete Pavement Material**. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 26, ed. 8, 2013.

3. Ullate, E. G.; Lopez, E. C.; Fresno, D. C.; Bayon, J. R.; **Analysis and Contrast of Different Pervious Pavements for Management of Storm-Water in a Parking Area in Northern Spain**. Water Resource Management, v. 25, p. 1525-1535, 2011.

4. Cackler, E. T., Ferragut, T., Harrington, D. S., Rasmussen, R. O., and Wiegand, P. **Evaluation of U.S. and European Concrete Pavement Noise Reduction Methods**. Technical report prepared for the Federal Highway Administration under Cooperative Agreement, 2006.

5. Garber, S; Rasmussen, R. O.; Harrington, D. **Guide to Cement-Based Integrated Pavement Solutions**. Technical report prepared for the Portland Cement Association, 2011.

6. Weiss, P. T.; Kayhanian, M.; Gulliver, J. S.; Khazanovich, L. **Permeable pavement in northern North American urban areas: research review and knowledge gaps**. International Journal of Pavement Engineering, v.20, ed. 2, p. 143-162, 2017.

7. Chandrappa, A. K.; & Biligiri, K. P. **Pervious concrete as a sustainable pavement material–Research findings and future prospects: A state-of-the-art review**. Construction and Building Materials, v. 111, p.262-274, 2016.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

9. Caldas, L. R.; Lins, D. N.; Sposto, R. M. **Avaliação do ciclo de vida de pavimento de concreto drenante considerando diferentes unidades funcionais**. Mix Sustentável, v.3, n. 3, p. 14-23. Florianópolis, 2017.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

11. Strieder, H. L. **Estudo do uso de agregado de concreto reciclado em concreto permeável para pavimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.