AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE BIOCONCRETOS DE BAMBU

Lucas Caldas (1); Vanessa Andreola (1); RomildoToledo Filho (1)

(1) Universidade Federal do Rio de Janeiro - lrc.ambiental@gmail.com

RESUMO

Bioconcretos de bambu (BCB) apresentam potencial para a reutilização dos resíduos gerados no processamento primário de produtos de bambu. Contudo, os agregados de bambu precisam ser tratados previamente antes de serem misturados aos materiais cimentícios. Nesse tipo de processo, além do consumo de energia para o tratamento dos resíduos, também é empregado o aditivo químico acelerador de pega denominado cloreto de cálcio ($CaCl_2$), que contribui para o aumento dos impactos ambientais durante a produção dos BCB. Foi utilizada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida Dinâmica (ACVd), com escopo do berço ao portão, para a avaliação de diferentes misturas de BCB produzidas em laboratório. Os teores analisados de $CaCl_2$ foram 1, 2, 3, 4 e 5% (em relação à massa de cimento Portland). A modelagem ambiental foi realizada no SimaPro, com banco de dados do Ecoinvent, Declarações Ambientais de Produtos e coletados em laboratório. Como indicadores de ecoeficiência foram relacionados os potenciais de impactos ambientais com a resistência à compressão dos BCB (em MPa). A mistura com 2% de $CaCl_2$ apresentou o melhor resultado para a maioria dos casos. A utilização da ACV foi fundamental para conhecer a produção dos bioconcretos e otimização do desempenho mecânico e ambiental.

Palavras-chave: Bioconcretos de bambu, ACV Dinâmica, cloreto de cálcio, tratamento resíduos.

ECO-EFFICIENCY INDICATORS ASSESSMENT IN THE PRODUCTION OF BAMBOO BIO-CONCRETES

ABSTRACT

Bamboo bio-concretes (BBC) can be considered as an alternative for the reuse of waste generated during bamboo products primary process. However, the bamboo aggregates need to be treated in order to be mixed with cementitious materials. Besides the energy consumption for the bamboo waste treatment is used the setting accelerator additive of calcium chloride ($CaCl_2$), that increase the environmental impacts of BBC production. The Life Cycle Assessment (LCA) was used, considering a cradle to gate scope, for the evaluation of different mixtures produced in laboratory. Five BBC mixtures were evaluated with different $CaCl_2$ content: 1%, 2%, 3%, 4% e 5% (in relation to the Portland cement mass). The environmental modelling was performed in SimaPro and we use the Ecoinvent database, Environmental Product Declarations and primary data collected in the laboratory. As ecoefficiency indicators we related the potential environmental impacts with the BBC compressive strength results (in MPa). The mixture with 2% content of $CaCl_2$ presented the best results for most of cases. The use of LCA was fundamental to know the production of bio-concretes and optimization of mechanical and environmental performance..

Key-words: Bamboo bio-concrete, Dynamic LCA, calcium chloride, waste treatment.

1. INTRODUÇÃO

A busca por um desenvolvimento sustentável em consonância com os preceitos de uma bioeconomia circular deve ser um dos nortes para o desenvolvimento de novos materiais no setor da construção civil. A bioeconomia está fundamentada no uso de recursos de origem biológica, principalmente de origem vegetal, com as seguintes vantagens: absorção de CO_2 atmosférico, são produtos renováveis, com potencial de serem biodregadáveis, e, normalmente com um processo produtivo menos intenso e menos poluente, quando comparados a produtos inorgânicos [1]. Já a economia circular, que também tem sido pauta de discussão de diversos setores industriais, traz a importância de priorizar a reutilização e reciclagem de resíduos e a economia de recursos naturais, de uma forma integrada, colaborativa e inteligente [2]. A integração entre esses dois "pensamentos" dá a origem a chamada bioeconomia circular.

A indústria da construção é conhecida por conseguir aproveitar os resíduos oriundos de diferentes e principalmente dos processos primários industriais, destacando-se: a produção de cimento Portland, com o aproveitamento de cinza volante e escórias de alto forno, uma prática já consolidada no mercado brasileiro e mundial; desenvolvimento de concretos com o uso de agregados reciclados a partir de resíduos de construção e demolição [3]; cinzas de diversas indústrias e setores, como casca de arroz e bagaço de cana [4]; resíduos sólidos urbanos [5]. Grande parte das pesquisas destacam-se no desenvolvimento e avaliações de concretos, normalmente para fins estruturais [6].

Andreola [7] desenvolveu o bioconcreto de bambu (BCB) com o objetivo de aproveitar os resíduos provenientes da cadeia produtiva de bambu, misturados com cimento Portland, aditivos químicos e água. O material desenvolvido permite que ele seja auto-adensado ao invés de prensado (que normalmente é o processo mais utilizado para a produção de bio-concretos, resultando em custos elevados de energia) e resulta em um material leve, com baixa condutividade térmica e potencial de ser utilizado em fechamentos verticais de edificações, resultando em eficiência energética e térmica.

Quando resíduos vegetais são utilizados como agregados e misturados com materiais cimentícios, muitas pesquisas apontam que eles podem atrapalhar o processo de pega, devido à presença de extrativos orgânicos [8]. Para sanar ou amenizar esse problema, normalmente é necessário que os resíduos sejam pré-lavados em água aquecida (em torno de 80°C). Nesse processo há elevado consumo de água, energia para aquecimento e uso de equipamentos específicos. Outra alternativa

indicada é o uso de aditivos aceleradores de pega, como o Cloreto de Cálcio ($CaCl_2$) [9]. Os compostos químicos auxiliam para acelerar a hidratação do cimento antes dos extrativos atuarem e prejudicarem a mistura. Dessa forma, impactos ambientais são gerados durante essa etapa de tratamento, e, portanto, precisam ser contabilizados e avaliados para conhecer o impacto ambiental de cada produto durante a produção dos bioconcretos.

Para a obtenção de informações ambientais de produtos de construção a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que vem sendo largamente utilizada internacionalmente e nos últimos anos, com crescimento expressivo no Brasil. A partir da ACV é possível quantificar as entradas (consumo de recursos naturais, energia, etc.) e saídas (emissões, efluentes, resíduos etc.) durante o processo de produção de um bem ou serviço, e avaliar isso em forma de potenciais impactos ambientais [10].

Com base no contexto supracitado, o presente estudo teve como objetivo avaliar os potenciais impactos ambientais durante o tratamento dos resíduos de bambu utilizados em diferentes misturas de BCB produzidas em laboratório, com o uso de diferentes teores de $CaCl_2$.

2. MÉTODO

2.1. Caracterização dos bioconcretos de bambu

O BCB é formado pela mistura de partículas de bambu com cimento Portland e aditivos químicos, onde todas as matérias-primas são homogeneizadas com água (Figura 1). Neste artigo, foram avaliadas cinco misturas de BCB com diferentes porcentagens de cloreto de cálcio, onde o consumo de cada material por kg/m³ está especificado na Tabela 1.

Figura 1 – Bioconcreto de bambu.



Tabela 1 – Caracterização dos bioconcretos avaliados.

% de $CaCl_2$	Cimento – CPV-ARI	Partículas de bambu	Cloreto de Cálcio	Água	Resistência à compresão
1%	828,6	236,0	8,3	522,8	13,28
2%	828,6	236,0	16,6	522,8	13,95
3%	828,6	236,0	24,9	522,8	14,33
4%	828,6	236,0	33,1	522,8	14,48
5%	828,6	236,0	41,4	522,8	14,77

2.2. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

No presente estudo foi utilizada a metodologia de ACV. De acordo com NBR ISO 14040[10] ela é dividida em quatro etapas: (1) definição de objetivo e escopo, (2) inventário do ciclo de vida, (3) avaliação do impacto do ciclo de vida e (4) interpretação dos resultados. Essas etapas serão apresentadas a seguir. O presente estudo foi realizado conforme a NBR ISO 14040 [10] e EN 15978 [11], sendo que essa última traz diretrizes e recomendação para a ACV de produtos da construção civil. Foram utilizadas duas abordagens: ACV convencional e ACV dinâmica (ACVd).

2.2.1. Avaliação do Ciclo de Vida Dinâmica (ACVd)

A ACVd proposta por Levasseur et al.[12] utiliza fatores de caracterização dinâmicos, ou seja, que variam ao longo do tempo. O modelo de cálculo considera o impacto de aquecimento global instantâneo (GWI_{inst}) e cumulativo (GWI_{cum}), que são baseados na combinação de fatores de caracterização dinâmicos flexíveis (DCF), que contabiliza o caimento de diferentes gases de efeito estufa (GHG) ao longo tempo, a partir de um inventário dinâmico, considerando as emissões dos GHG ao longo do tempo. Nas equações A, B e C são apresentadas as formulações utilizadas no modelo.

$$DCF_{inst;GHG}(t) = \int_{t-1}^{1} a_{GHG} C(t)_{GHG} dt \qquad (A)$$

$$GWI_{inst}(t) = \sum \; GHG \sum_{i=0}^{t} g_{GHG}(t_i).DCF_{inst,GHG}(t - t_i) \qquad (B)$$

$$GWI_{cum}(t) = \sum_{i=0}^{t} GWI_{inst}(t_i) \qquad (C)$$

Onde:

$DCF_{inst;GHG}(t)$ – fator dinâmico de caracterização de um específico gás de efeito estufa que ocorre no tempo t.

$C(t)_{GHG}$– carga na atmosfera do dado gás de efeito estufa t anos após a sua emissão.

a_{GHG}– forçamento radioativo instantâneo por unidade de massa que aumentou na atmosfera para um específico gás de efeito estufa

$GWI_{inst}(t)$– Impacto instantâneo de aquecimento global em um dado tempo t.

$g_{GHG}(t_i)$ – é o resultado do inventário dinâmico do dado gás de efeito estufa no ano i.

$GWI_{cum}(t)$ – Impacto cumulativo de aquecimento global - é a somatória de todos os $GWI_{inst}(t)$ do zero ao tempo t.

Para a avaliação de biomateriais, em que a quantificação do CO_2 biogênico ao longo do tempo, é um aspecto crítico, como mostra Peñaloza et al. [13], a ACVd tende a ser um método mais preciso e completo para avaliação desses materiais e por isto foi empregado no presente estudo. Foram avaliados quatro GHG, sendo eles: o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e monóxido de carbono (CO).

A contabilização do carbono biogênico exerce grande influência do fim de vida que o material irá receber. Por exemplo, para o caso de incineração, esse carbono acaba sendo igual a zero, pois o carbono que é absorvido na fotossíntese é devolvido quando o mesmo é queimado. Por outro lado, para o caso de aterramento sanitário, dependendo da constituição da biomassa ou da interação com outros materiais constituintes, esse carbono pode ser considerado indefinidamente armazenado [14]. Como os resíduos de bambu presentes no bio-concreto são mineralizados pelo cimento, foi considerado que o carbono biogênico fica indefinidamente armazenado, essa mesma abordagem foi adotada por Arrigoni et al. [15] e Pittau et al. [16].

Para a categoria de Potencial de Aquecimento Global (GWP100) foi calculado o carbono biogênico, absorvido durante a fotossíntese do bambu. Para isso foi quantificado o teor de carbono do material seco (C) via Análise Elementar CHN, em que é possível quantificar o percentual de carbono presente na matéria seca. O ensaio foi realizado no Laboratório de Xistoquímica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Para os resíduos de bambu foi utilizado o valor de 45,1%.

2.2.2. Definição da unidade funcional e escopo

A unidade funcional escolhida foi o volume de BCB produzido (em m³), sendo delimitado o escopo do "berço ao portão", considerando as seguintes etapas: (A1) extração e produção das matérias-primas. (cimento Portland, partículas de bambu, aditivo cloreto de cálcio e água), (A2) transporte e (A3) produção do bio-concreto, de acordo com a organização da EN 15978 [11].

2.2.3. Análise de inventário

Foi utilizada a Declaração Ambiental (DAP) do Cimento Portland CPV-ARI para o inventário do cimento empregado no BCB. Para as partículas de bambu foi considerado o tratamento realizado no

laboratório com lavagem a 80°C, moagem e peneiramento, sendo contabilizados o consumo de água e energia elétrica durante esses processos.

Para o aditivo $CaCl_2$ foi adotado o processo disponível no Ecoinvent v.3.3, com adaptação da energia elétrica para a matriz de energia brasileira e distâncias de transporte.

Para o transporte dos insumos foi realizada uma análise de incertezas, sendo considerada que a fábrica hipotética do BCB se localiza na região Sudeste e assim foram considerados quatro distâncias de transporte dos insumos utilizados: 50 km, 100 km, 200 km e 400 km, com base no mapeamento das indústrias de produtos de bambu e cimento, onde esse procedimento é similar aos estudos realizados por Invidiata e Ghisi [17]. Dessa forma, os resultados foram apresentados com base nos valores de desvio padrão. Foi adotado o transporte dos insumos via modal rodoviário, com consumo de óleo diesel pelos caminhões, procedimento normalmente empregado para o transporte de materiais de construção civil no Brasil [18]. Foi utilizado o transporte com caminhões do tipo EURO 3, obtido do Ecoinvent v. 3.3. Para a produção do BCB relacionou-se operações similares que ocorrem em uma usina convencional de concreto, considerando a energia gasta para a produção de 1m³ de concreto, sendo obtidos do Ecoinvent v. 3.3. A matriz de energia elétrica foi adaptada à realidade brasileira.

2.2.4. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foi aplicado o método CML-IA Baseline, que é do tipo *midpoint*, sendo considerados somente as sete categorias de impactos ambientais apresentados na EN 15978 [11], sendo elas: Potencial de Aquecimento Global (GWP100), Potencial de Depleção da Camada de Ozônio (ODP), Potencial de acidificação (AP), Potencial de eutrofização (EP), Potencial de criação de ozônio fotoquímico (POCP), Potencial de Depleção de Elementos (ADP-e), Potencial de Depleção de Combustíveis Fósseis (APD-ff).

2.2.5. Indicadores de Desempenho Mecânico-Ambiental

O emprego de indicadores de desempenho mecânico-ambiental já é uma prática comum nos estudos de ACV aplicados aos concretos, como pode ser visto nos estudos de Van Den Heede e De Belie [5], Celik et al. [6]. Os resultados dos impactos ambientais, expressos em suas unidades, foram divididos pela resistência à compressão de cada mistura, expressa em MPa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os resultados dos potenciais impactos ambientais avaliados.

Figura 3 — Avaliação do potencial de aquecimento global. (A) ACVd. (B) CML-IA.

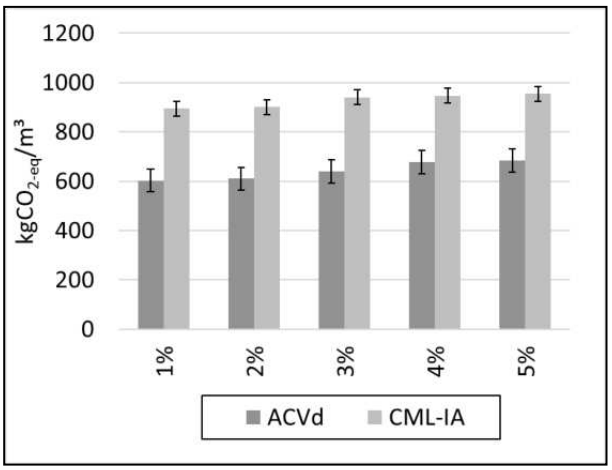
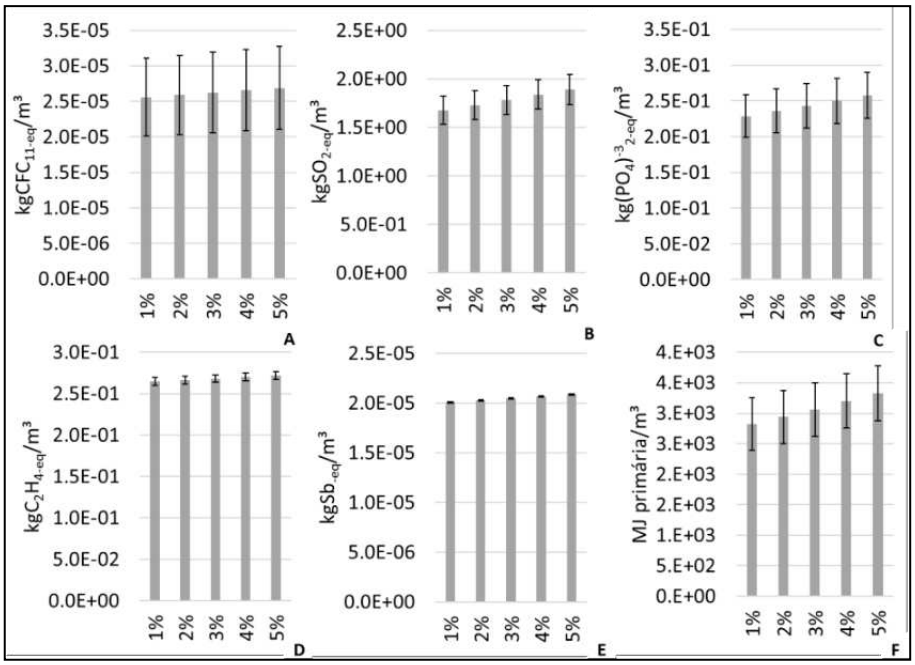


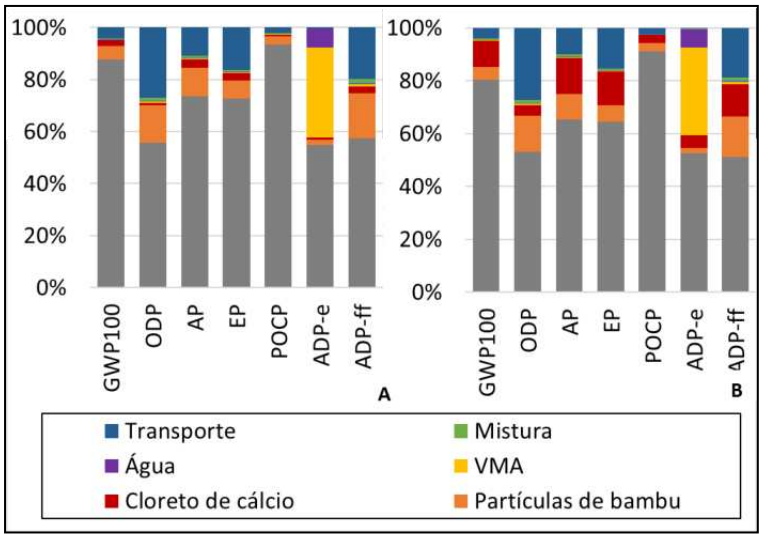
Figura 4 — Avaliação dos Potencial de Aquecimento Global. (A) Depleção da camada de ozônio. (B) Acidificação. (C) Eutrofização. (D) Formação de fotooxidantes. (E) Depleção abiótica de recursos – elementos. (F) Depleção abiótica de combustíveis fósseis.



O uso da ACVd se mostrou mais adequado para a avaliação do BCB pois pôde quantificar o impacto em termos de GWP100 do CO_2 que é absorvido durante o crescimento dos colmos de bambu, com diferenças na ordem de 40% a 48%. Portanto, deve ser o método utilizado para a avaliação dessa categoria de impacto para bio-concretos ou outros biomateriais.

A maior diferença com o aumento do teor de cloreto de cálcio no traço do bio-concreto ocorreu para as categorias de ADP-ff, AP, EP e GWP100 chegando a mais de 18% entre o BCB com 5% e 1%, para a primeira categoria, enquanto as outras categorias de impacto apresentaram diferenças inferiores a 5%. As quatro primeiras categorias são aquelas em que a participação do $CaCl_2$ é maior, como é possível observar na Figura 5, em função principalmente do calor utilizado na produção. Para essas categorias há também uma maior contribuição da etapa de transporte, devido ao consumo do diesel, já que mais $CaCl_2$ será transportado.

Figura 5 — Perfil ambiental das misturas de bioconcreto de bambu. (A) 1% $CaCl_2$. (B) 5% $CaCl_2$.



O cimento foi o insumo mais impactante para a maioria das categorias, que está relacionado a produção do clínquer, principalmente ao processo de calcinação do carbonato de cálcio e consumo de combustíveis fósseis, sendo sua maior parcela o coque de petróleo. Portanto, o consumo de cimento deve ser diminuído, com substituição de materiais com menos impacto ambiental, como por exemplo, a utilização parcial de cinza volante, metacaulim e outras adições minerais, considerando questões de disponibilidade, desempenho e durabilidade.

Para as partículas de bambu os impactos estão relacionados ao consumo de energia elétrica para o beneficiamento. O consumo de água só se mostrou impactante para a categoria de ADP-e. A análise de sensibilidade para as distâncias de transporte mostrou que ela é importante para as categorias de ODP, EP e ADP-ff, devido ao consumo de diesel, que impacta diretamente nessas categorias.

Quando se comparam os resultados dessa pesquisa com outros bio-concretos, como os de Arrigoni et al. [15] e Pretot et al.[19], os resultados se diferem drasticamente pois o bio-concreto de cânhamo,

avaliado por esses autores, apresenta uma composição e desempenho mecânico bastante diferente do BCB de bambu. No entanto, todos esses autores deram crédito ao carbono biogênico armazenado na biomassa (considerando como emissões negativas de CO_2), mostrando que essa contabilização é importante para a avaliação de biomateriais.

Nas Figuras 6 e 7 são apresentados os indicadores de desempenho mecânico e ambiental, em que potenciais impactos ambientais são normalizados pela resistência à compressão (em MPa). Os quadrados vermelhos indicam a mistura que foi mais ecoeficiente, considerando cada categoria de impacto ambiental.

Figura 6 — Avaliação do Potencial de Aquecimento Global normalizado pela resistência à compressão. (A) ACVd. (B) CML-IA.

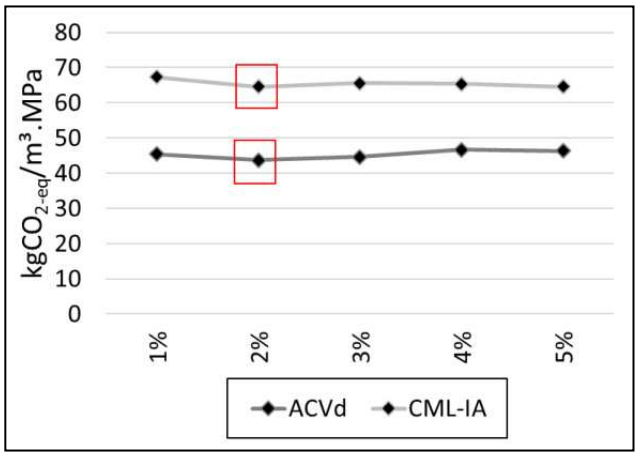
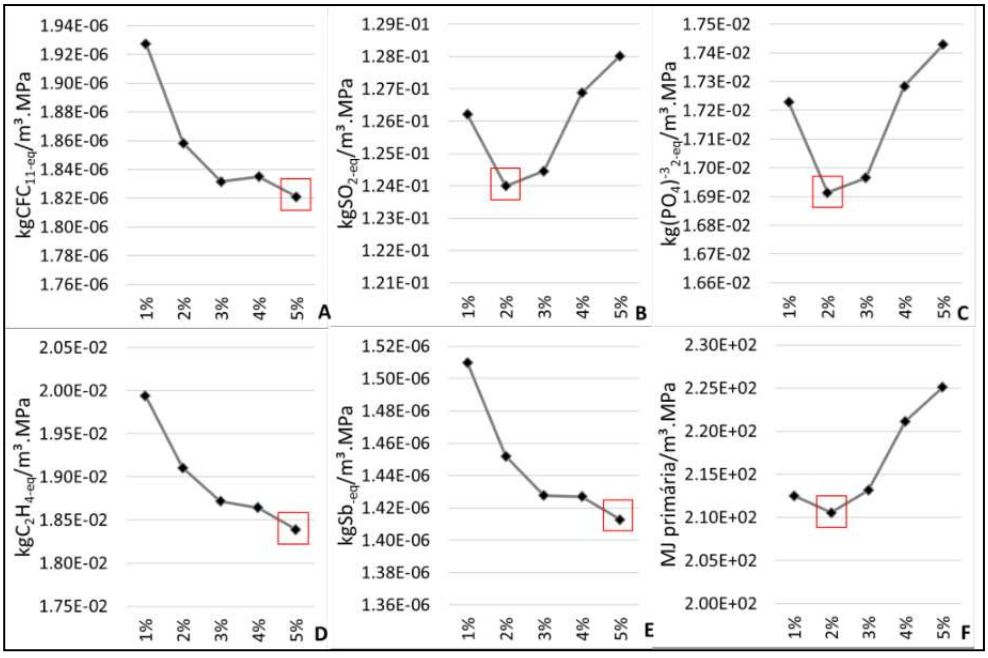


Figura 7 — Avaliação dos potenciais impactos ambientais normalizados pela resistência à compressão. (A) Depleção da camada de ozônio. (B) Acidificação. (C) Eutrofização. (D) Formação de fotooxidantes. (E) Depleção abiótica de recursos – elementos. (F) Depleção abiótica de combustíveis fósseis.



Observa-se que nem todas as categorias de impacto ambiental convergem para a mistura com o teor de $CaCl_2$ mais eficiente, sendo verificado o teor de 5% para as categorias de ODP, POCP e ADP-e e 2% para as categorias GWP100 (ambos os métodos) AP, EP e ADP-ff. Em estudos de ACV esse tipo de resultado é comum [20], tendo em vista que diferentes materiais e processos produtivos exercem diferentes impactos ambientais, portanto, com contribuição diferente nos resultados finais. Nesta ótica, o tomador de decisão deve escolher quais as categorias de impacto são mais importantes para o seu contexto. O primeiro ponto é saber a magnitude de cada impacto ambiental. Por exemplo: o GWP100 e ODP são classificados como impactos globais, enquanto os outros são considerados impactos locais.

Como o BCB foi pensado como uma solução alternativa para a mitigação das Mudanças Climáticas e como essa categoria tem abrangência global, a categoria de GWP100 foi considerada como a mais importante.

Para o método CML as categorias de AP e POCP apresentam escopo de aplicação direcionado para o contexto europeu [21]. Especificamente para a categoria de ADP-e os resultados não podem ser tão reais ao contexto onde o material é desenvolvido, em função da categoria medir a exaustão dos recursos naturais, ou seja, a relação entre consumo e disponibilidade de dado recurso. Como foi utilizado um banco de dados internacional, o dado de disponibilidade pode não retratar as condições reais, ainda mais se considerar a disponibilidade local de dado recurso, por exemplo na região Sudeste considerada neste estudo. Sendo assim, essas três categorias não serão consideradas como prioritárias.

Outra consideração importante em relação ao desenvolvimento de novos materiais, é o custo de produção. Esse tópico está diretamente relacionado ao custo de suas matérias primas, que no caso do BCB, a matéria-prima utilizada que apresenta custo mais elevado é o $CaCl_2$. Neste sentido, um aumento de seu consumo leva a um aumento do custo do BCB.

Ao final, a partir dessas considerações, foi verificado que a mistura com teor de 2% foi a mais ecoeficiente, tendo em vista que ela apresentou menores valores de impactos ambientais para cada MPa de resistência à compressão, para categorias de impacto classificadas como prioritárias, além de ter um menor consumo do $CaCl_2$, que é a matéria prima de maior custo para a produção do BCB.

O desenvolvimento de novos materiais aliado com o emprego de indicadores ambientais, se mostrou como uma alternativa interessante e eficaz para a verificação da ecoeficiência do produto. Tendo em vista que durante o desenvolvimento de novos materiais, existem muitas incertezas e

diferentes caminhos, a utilização desses indicadores em conjunto com os resultados de desempenho mecânico, tornam-se importantes balizadores para o desenvolvimento de um material mais ecoeficiente.

4. CONCLUSÕES

Dentre as misturas avaliadas, o cenário que utilizou 2% de $CaCl_2$ apresentou o melhor resultado em termos de ecoeficiência para a maioria dos casos. O cimento se mostrou o insumo mais impactante para a maioria das categorias de impacto avaliadas, seguido do tratamento dos resíduos de bambu. O aumento do consumo de $CaCl_2$ se mostrou importante para as categorias de Depleção de Combustíveis Fósseis (ADP-ff), Acidificação (AP), Eutrofização (EP) e Potencial de Aquecimento Global (GWP100). A metodologia de ACVd se mostrou mais adequada para avaliar o GWP100 por quantificar o CO_2 absorvido durante o crescimento do bambu na plantação.

A metodologia utilizada nesta pesquisa poder ser aplicada no desenvolvimento de outros materiais de construção inovadores, sendo, portanto, uma importante contribuição, para a produção e validação, em termos quantitativos, de materiais mais ecoeficientes.

Para futuras análises, pretende-se quantificar outros impactos ambientais do bio-concreto avaliado, como depleção de recursos hídricos, além da avaliação dos custos para a produção do material. Ademais, a avaliação das propriedades referentes à durabilidade e características higrotérmicas, que poderão ser utilizados para a proposição de novos indicadores de ecoeficiência.

4. REFERÊNCIAS

1. RAMAGE, M. H. et al. The wood from the trees: The use of timber in construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.68, p.333-359, 2017.
2. ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Uma economia circular no Brasil: Uma abordagem exploratória inicial**. 2017.
3. BOVEA, M. D., POWELL, J., 2016. Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes. Waste Management. 50,151-172.
4. FAIRBAIRN, E. M. R.; PAULA, T. P.; CORDEIRO, G. C.; AMERICANO, B. B., 2012. Avaliação da substituição parcial de clínquer por cinza de bagaço de cana: redução de emissão de CO2 e potencial de créditos de carbono. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**. 5 (2), 229-251.
5. VAN DEN HEEDE, P., DE BELIE, N., 2012. Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and “green” concretes: Literature review and theoretical calculations". **Cement and Concrete Composites**. 34 (4), 431–442.
6. CELIK, K.; MERAL, C.; GURSEL, A. P.; MEHTA, P. K.; HORVATH, A..; MONTEIRO, P. J. M.; Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of selfconsolidating concrete mixtures made with blended Portland cements containing fly ash and limestone powder. **Cement and Concrete Composites**, 2015, 56, (59–72).
7. ANDREOLA, V. M. **Caracterizacão Física, Mecânica e Ambiental de Bio-Concretos de Bambu.** Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2017.
8. DA GLORIA, M.Y.R.; TOLEDO FILHO, R.D.. . Influence of the wood shavings/cement ratio on the thermo-mechanical properties of lightweight wood shavings-cement based composites. In: 6th AMAZON & PACIFIC GREEN MATERIALS CONGRESS and SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS LAT-RILEM CONFERENCE, 2016, Cali. **Proceedings of …** April 27- 29th, 2016.. Cali: Track Comunicación, 2016. p. 365-374.
9. CALDAS et al.; MENEZES, A. P. N.; DA GLORIA, M. Y. R.; ANDREOLA, V. M.; SANTOS, D.;TOLEDO FILHO, R. D. Carbon Footprint and Water Scarcity Assessment of Wood Bio-Concretes: Evaluation of Different Life Cycle Impact Methods. In: 18th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies ”Construction Materials & Technologies for Sustainability, 2019, Nairobi **Proceedings of …**Nairobi, Kenya, 2019.
10. Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). **NBR ISO 14040:** Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.
11. European Committee for Standardization (CEN). **EN 15978**: sustainability of construction works: assessment of environmental performance of buildings – calculation method. Brussels, 2011.
12. LEVASSEUR, A., LESAGE, P., MARGNI, M., DESCHÊNES, L., SAMSON, R., 2010. Considering time in LCA: dynamic LCA and its application to global warming impact assessments. **Environ. Sci. Technol**. 44, 3169-3174.
13. PEÑALOZA, D., ERLANDSSON, M., FALK, A., 2016. Exploring the climate impact effects of increases use of bio-based materials in buildings. **Constr. Build. Mater**. 125, 219-226.

14. GARCIA, R., FREIRE, F., 2014. Carbon footprint of particleboard: a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration. **J. Clean. Prod**. 66, 199 – 209.

15. ARRIGONI, A., PELOSATO, R., MELIÀ, P., RUGGIERI, G., SABBADINI, S., DOTELLI, G., 2017. Life cycle assessment of natural building materials: the role of carbonation, mixture components and transport in the environmental impacts of hempcrete blocks. **J. Clean. Prod**. 149, 1051–1061.

16. PITTAU, F., KRAUSE, F., LUMIA, G., HABERT, G. 2018. Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls. **Build. Env**. 129, 117-129.

17. INVIDIATA, A., GHISI, E., 2016. Life-cycle energy and cost analyses of window shading used to improve the thermal performance of houses. **J. Clean. Prod**.133, 1371–1383.

18. CALDAS, L. R., SPOSTO, R. M, 2017. Emissões de CO2 referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 91108, out./dez. 2017.

19. PRETOT, S., COLLET, C., GARNIER, C., 2014. Life cycle assessment of a hemp concrete wall: Impact of thickness and coating. **J. Clean. Prod**. 72, 223 – 231.

20. LASVAUX, S.; ACHIM, F.; GARAT, P.; B.PEUPORTIER, B.; CHEVALIER, J.; G.HABERT, G. 2016. Correlations in Life Cycle Impact Assessment methods (LCIA) and indicators for construction materials: What matters?. **Ecological Indicators**. 67, 174-182.

21. JOINT RESEARCH CENTRE, 2010. **Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment**: background document. (ILCD Handbook). 2010.