

APLICAÇÃO DA ABORDAGEM ECOSISTÊMICA NA REESTRUTURAÇÃO DO MODELO DE SISTEMA DE PRODUTO NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

APPLICATION OF THE ECOSYSTEM APPROACH IN THE RESTRUCTURING OF THE PRODUCT SYSTEM MODEL IN LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR CONSTRUCTION MATERIALS

Data de aceite: 14/09/2024 | Data de submissão: 13/09/2024

ROCHA, Marina Silva Seabra da, Doutoranda

UFMG, Belo Horizonte, Brasil, E-mail: marinarocha.prof@gmail.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9989-976X>

ASSIS, Eleonora Sad de, Doutora

UFMG, Belo Horizonte, Brasil, E-mail: eleonorasad@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7702-5669>

RESUMO

Têm-se buscado por métodos padronizados e coerentes para a avaliação do desempenho ambiental no setor da construção civil. A ACV, apesar de suas limitações, tem sido o método preferencial para a execução de tal tarefa. Dado o potencial da ACV, o objetivo deste estudo é reformular a estrutura do modelo de ciclo de vida do sistema de produto de materiais de construção, incorporando nela os preceitos da teoria ecossistêmica, mitigando as suas falhas do modelo tradicional, focando na avaliação do impacto ambiental de materiais da construção civil na provisão de serviços ecossistêmicos. Por meio de uma análise crítica da literatura normativa da ACV e sua comparação conceitual com os fundamentos ecossistêmicos, foi possível incorporar a estrutura de cascata e as categorias de impacto da abordagem ecossistêmica ao modelo do CV. Tal incorporação resultou na ampliação das fronteiras do sistema e na consolidação de um novo modelo padrão de caracterização.

Palavras-chave: ACV; Serviços Ecossistêmicos; Materiais de construção.

ABSTRACT

There has been a pursuit for standardized and coherent methods for evaluating environmental performance in the construction sector. Despite its limitations, Life Cycle Assessment (LCA) has been the preferred method for this task. Given the potential of LCA, the aim of this study is to reformulate the life cycle model structure of the product system for construction materials by incorporating the principles of ecosystem theory, thus mitigating the shortcomings of the traditional model and focusing on the assessment of the environmental impact of construction materials in the provision of ecosystem services. Through a critical analysis of the normative LCA literature and its conceptual comparison with ecosystemic foundations, it was possible to incorporate the cascade structure and impact categories of the ecosystem approach into the LCA model. This incorporation resulted in the expansion of system boundaries and the consolidation of a new standard characterization model.

Keywords: LCA; Ecosystem Services; Building Materials.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que os processos humanos em geral, como os processos industriais da construção civil, criam pressões que podem afetar o estado dos ecossistemas e suas funções. Isto pode impactar a natureza e o nível de provisão de serviços ecossistêmicos (SE) alterando, então, o bem estar da sociedade (Ten Brink, 2015). Segundo o último relatório do UNEP (United Nations Environment Programme, 2024), o setor da construção civil, no que concernem as fases de operação da edificação e fabricação de materiais, liberou, em 2022, 37% das emissões totais de gás carbônico no mundo.

Uma das técnicas que têm sido amplamente usadas para avaliação das consequências ambientais da fabricação e escolha de materiais de construção, é o método da avaliação do ciclo de vida (ACV). O desenvolvimento dos estudos de ACV se iniciou na década de 1960 e acarretou em um questionamento por parte da sociedade sobre os limites de exploração de recursos naturais (Coltro, 2007). Esta técnica contribui para a análise da sustentabilidade na medida em que, a partir dela, se pode verificar em quê é possível melhorar a produção em termos ambientais. Ela permite, portanto, corrigir falhas e, graças aos vários processos de rotulagem que se baseiam no conceito de ACV, o consumidor pode escolher, dentro das suas possibilidades, produtos de companhias que se adéquam a uma lógica menos impactante ambientalmente (Brasil, [2018]).

A ACV, no entanto, possui diversas limitações apontadas por alguns estudiosos. Dentre elas, pode-se destacar a visão reducionista que contabiliza apenas aspectos e indicadores físicos, como liberação de emissões e resíduos. Além disto, ao focar no sistema de produto, ela não é capaz de mensurar diretamente as consequências das emissões para o meio. Este método também é considerado complexo, subjetivo e que lida com uma multiplicidade de indicadores de categoria de impactos. Estes últimos, por terem natureza distinta, não podem ser diretamente comparados. Isto demonstra a necessidade de uma base conceitual mais holística e padronizada, mas, ao mesmo tempo, de fácil manipulação, focada nas consequências para o meio e baseada em critérios e indicadores mais objetivos.

Acredita-se que a inserção das bases conceituais ecossistêmicas seja uma resposta pertinente às limitações da ACV. Contudo, não há pesquisas que mostrem como incorporar a abordagem ecossistêmica neste método. Wanderwilde e Newell (2010) revelam que as duas áreas de pesquisa, embora compartilhem objetivos sustentáveis, têm poucos pontos de interseção. Zari (2019), todavia, é a primeira pesquisadora a sugerir um método para a incorporação dos conceitos ecossistêmicos em ACV para materiais de construção. A autora, no entanto, não adentra na reestruturação dos conceitos e fluxos ligados ao sistema de produto, de forma a incorporar os preceitos ecossistêmicos neles.

Zari (2019), em seu artigo, salienta que um dos grandes desafios da pesquisa na área concerne o entendimento de como os materiais impactam os serviços ecossistêmicos e, portanto, em se fazer a abordagem ecossistêmica aplicável à seleção de materiais de construção. Além disto, é preciso elaborar definições, métricas e métodos que sejam internacionalmente aceitos para a avaliação de serviços ecossistêmicos. Com isto, será possível compreender melhor como estes interferem e são modificados por sistemas de origem antrópica, como os sistemas produtivos e sociais, em diferentes escalas espaciais e temporais (Zari, 2019).

Por isto, na presente investigação, indaga-se onde é possível aplicar os conceitos da abordagem ecossistêmica dentro do método da ACV. O desafio aqui é propor uma reformulação do modelo de ciclo de vida do sistema de produto, de modo a mitigar as limitações do modelo convencional e focar o procedimento na consequência do processo de fabricação e escolha de materiais de construção na provisão de serviços ecossistêmicos.

2. ESPECIFICAÇÕES GERAIS

A seguir, faz-se a fundamentação teórica da pesquisa que irá embasar a proposta estrutural do novo modelo de sistema de produto do berço ao portão do local de uso – canteiro de obras – para materiais de construção. Primeiro, foram detalhados os princípios da teoria ecossistêmica. Em seguida, tratou-se dos procedimentos e conceitos da ACV.

2.1. Abordagem Ecossistêmica

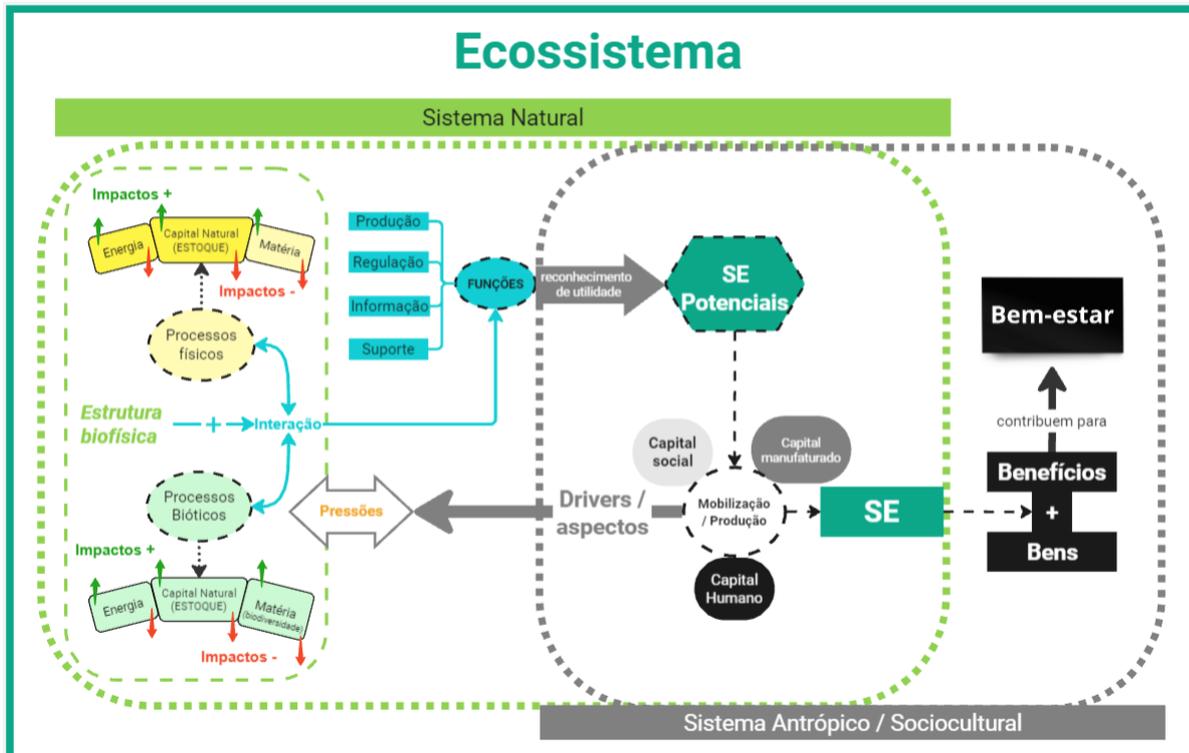
Ecossistema é “um complexo dinâmico de comunidades de plantas, animais e microrganismos e seu ambiente não vivo interagindo como uma unidade funcional” (Brasil, 2000, p. 9). Um ecossistema é composto por uma estrutura formada de elementos bióticos – organismos vivos – e abióticos – elementos químicos e físicos (La Notte *et al.*, 2017), que são a base de cada SE (Spanberg; von Haaren; Setelle, 2014). Estes elementos interagem de forma complexa entre si ao longo do tempo, configurando-se nos processos do ecossistema – ciclos de materiais e os fluxos de energia. A estrutura, juntamente com os processos, dá origem às funções ecossistêmicas (De Groot; Wilson; Boumans, 2002; Pavan, 2018).

As funções ecossistêmicas básicas são a de produção, regulação, suporte e informação. Elas podem se converter em Serviços Ecossistêmicos, caso haja um reconhecimento, por indivíduos ou grupos, do seu potencial de usabilidade. Ao se mobilizar este potencial através do capital humano, social e manufaturado tem-se o fornecimento e a constituição de um SE (Spanberg; von Haaren; Setelle, 2014). Segundo Buckhard e Maes (2017), serviços ecossistêmicos são rótulos que se atribuem às coisas úteis que os ecossistemas fazem pelas pessoas. São as contribuições finais que o meio dá ao bem-estar humano (Haines-Young; Potschin, 2018) e que resultam, após a mobilização e apropriação destes, em bens e benefícios aos quais as pessoas atribuem um valor (Spanberg; von Haaren; Setelle, 2014).

No entanto, esta forma de mobilizar o capital natural quando se fabrica algo, gera pressões antrópicas que impactam o ambiente (Buckhard; Maes, 2017; Costanza *et al.*, 2017). A persistência, intensidade e variação no tempo das pressões determinam a importância dos impactos no meio e, conseqüentemente, das alterações ecossistêmicas (Buckhard; Maes, 2017). As principais pressões geradas são as mudanças climáticas, o uso e a exploração do solo e das águas, a alteração de habitats, o aparecimento e reprodução de espécies invasoras, a poluição e a eutrofização. Por sua vez, os indicadores das condições ecossistêmicas traduzem as mudanças trazidas por estas pressões ao meio. Os impactos, então, podem ser

entendidos como o fluxo inverso ao dos serviços. Ou seja, são as conseqüências da influência das atividades humanas no meio (Buckhard; Maes, 2017). Estes impactos podem ser positivos ou negativos dependendo do nível e tipo de pressão antrópica e das condições do ecossistema. A Figura 1 ilustra a relação destes conceitos.

Figura 1: Esquema simplificado de serviços ecossistêmicos



Fonte: Autores.

2.2. Avaliação do Ciclo de Vida

Ciclo de vida são as etapas, em sequência, do percurso de um produto ou processo produtivo que podem se iniciar na geração da matéria-prima e se encerrar no descarte final deste (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a). Apesar de o foco ser no produto, informações sobre a condição ambiental dos sistemas limítrofes podem tornar os resultados da ACV mais precisos (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b). O método da avaliação do ciclo de vida tradicional é considerado um estudo complexo, comparativo que, segundo a norma, “fornece uma perspectiva sistêmica das questões ambientais e de recursos para um ou mais sistemas de produto” (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a). Seu objetivo é medir os impactos associados ao ciclo de vida de um produto ou serviço. Ele também permite considerar aspectos do meio, dos recursos naturais e da saúde humana, mas não leva em consideração dados econômicos ou sociais (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a).

É importante lembrar também que a ACV considera apenas impactos ambientais potenciais e não precisos, pois são relativos a uma unidade de referência do produto. Isto quer dizer que neste método se analisa uma quantidade específica,

uma amostra, e não o universo completo do produto. Além disto, é fato que existe uma incerteza na modelagem dos impactos, sobretudo em relação àqueles que não são imediatos (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a).

Sabe-se que não existe um jeito único e pré-definido de se executar uma ACV. Ela pode ser combinada com outros métodos de modo a permitir uma avaliação mais holística, possibilitando melhorias e incorporação de novidades na técnica, ao utilizar informações de outros métodos. A ACV possui quatro fases: a definição do objetivo e do escopo do estudo; a análise de inventário; a avaliação de impactos e, por fim, a interpretação. A fase de definição do objetivo compreende o estabelecimento do porquê da realização do estudo, para qual finalidade e para quem este está sendo feito e se os resultados serão divulgados publicamente. Já no escopo, se deve delinear e descrever claramente o sistema e suas funções, as fronteiras, os tipos de impactos e suas categorias, metodologias de avaliação e interpretação, entre outros (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a).

O avaliador é quem determina onde começa e termina o sistema, que é a sequência de processos elementares, também conhecidos como fases – constituição da matéria-prima, transporte desta até o local de beneficiamento, processo de transformação em produto, manufatura de materiais e produtos auxiliares ao processo de produção, geração de fontes de energia, uso, manutenção, descarte e ou reciclagem – que são conectados por fluxos de produtos intermediários e que realizam uma ou mais funções. Também é o avaliador que delimita onde estão as fronteiras do processo avaliado, de acordo com o objetivo e o escopo do estudo, conforme os sistemas fornecedores (de entradas) e receptores (de saídas) de fluxos elementares e de produtos do sistema em análise (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a).

Estas entradas – de material, produtos ou energia – e saídas – de material, produtos, emissões, resíduos ou energia – são, então, levantadas e quantificadas por meio de cálculo na análise de inventário do ciclo de vida (ICV). Já na avaliação de impacto (AICV), é feita a estimativa da magnitude e da significância dos impactos potenciais do sistema. Nesta fase, também, os resultados do ICV são relacionados às categorias de impacto ambiental, indicadores e pontos finais de categoria, respectivos que são considerados relevantes para o estudo (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a). Isto é feito por meio de modelos de caracterização escolhidos. Estes modelos são os conjuntos de processos ambientais correspondentes a cada um dos indicadores de categoria e seus respectivos preceitos utilizados para detalhá-los. Estes devem ser condizentes com o objetivo e escopo da ACV. Porém, sabe-se que não existe um método bem definido e aceito que relacione de forma precisa dados de inventário com impactos ambientais e pontos finais (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b).

Os pontos finais de categoria, por sua vez, são os aspectos externos, ou seja, de um meio (sistema) afetado pelas saídas do sistema em estudo. O indicador de categoria, que é calculado nesta fase, configura-se como a unidade que representa a saída de um processo elementar que impacta o meio. No entanto, este pode ser escolhido em qualquer ponto do mecanismo ambiental. Os mecanismos, por sua

vez, são os fenômenos de natureza física, química ou biológica que permitem com que as saídas, que constituem os resultados da análise de inventário, afetem os pontos finais das categorias de impacto (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a). Já as categorias de impacto podem ser traduzidas como as questões ambientais afetadas pelas saídas do sistema, por meio do aspecto ou fator ambiental. Estes últimos são os processos do sistema que interagem com o meio ambiente. É importante lembrar que a seleção das categorias de impacto deve abranger um conjunto amplo de aspectos ambientais afetados pelo sistema de produto analisado (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b).

É relevante ressaltar que no método de ACV, se as categorias de impacto, de indicadores e os modelos de caracterização existentes não forem suficientes, novos podem ser definidos. No entanto, o modelo de caracterização de cada indicador deve se basear em um mecanismo ambiental identificável com características espaciais e temporais específicas e fundamentado em dados científicos. Conseqüentemente, este modelo, os indicadores e categorias resultantes dele devem ser aceitos internacionalmente (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b).

Por fim, na interpretação do ciclo de vida, é feito um diagnóstico com base na sumarização da análise de inventário e ou da avaliação de impacto, de acordo com o objetivo e escopo do estudo. Desta forma, são tiradas conclusões que serão base para recomendações ou tomada de decisão (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa exploratória de caráter descritivo se fundamenta na revisão de literatura crítica. As publicações utilizadas de base sobre SE totalizaram em 10. Todas tratam da abordagem ecossistêmica baseada no seu modelo de cascata. Este modelo é o que permite fazer o elo entre o processo produtivo, ou seja, a apropriação dos bens ecossistêmicos e seus impactos na estrutura biofísica do meio, que é a responsável pela provisão dos serviços. Além disto, a abordagem de cascata foi proposta por Haines-Young e Potschin, em 2010, criadores das bases da Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES) (La Notte *et al.*, 2017), fruto de esforços da Agência Ambiental Européia (EEA), visando padronizar as tipologias e os conceitos de SE, de modo a permitir a comparação entre métodos de mapeamento ambiental e de avaliação de SE (Embrapa, [S.d.]).

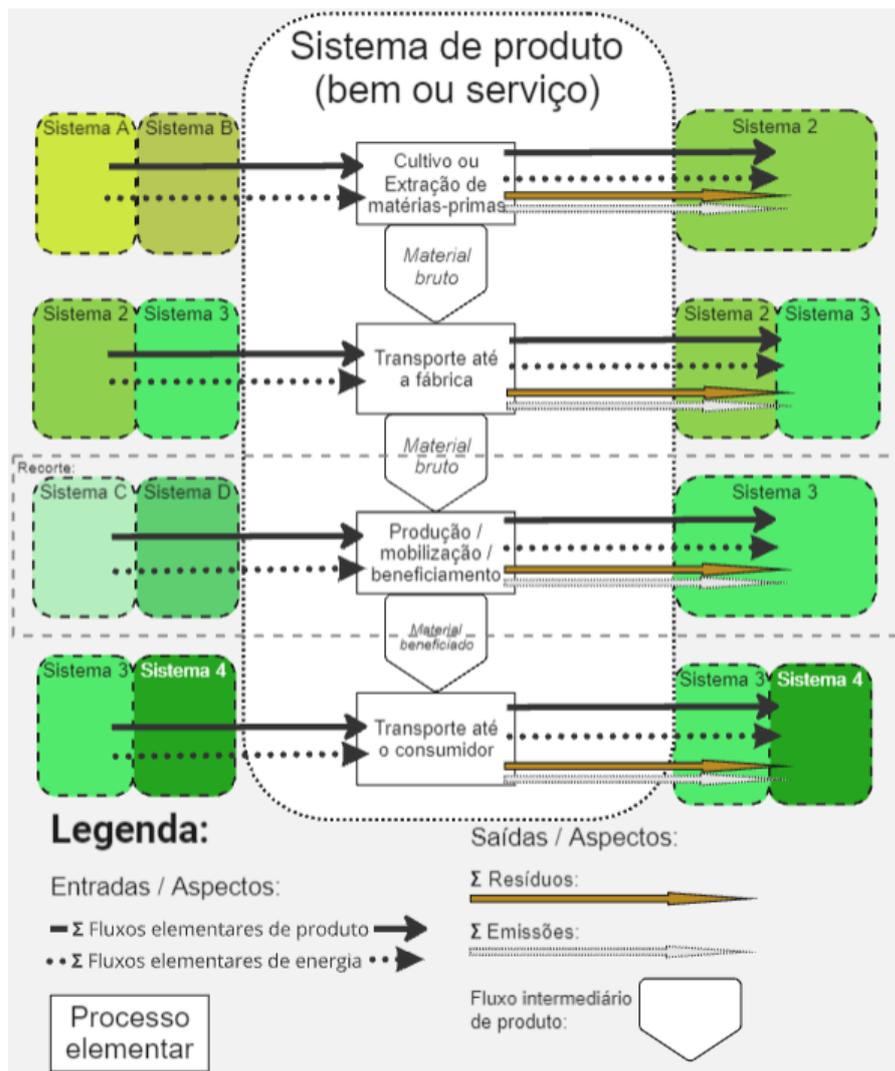
Já no que concernem às bases conceituais de ACV, foram consultadas as duas normas em vigência, a ABNT ISO NBR 14040 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a) e a ISO NBR 14044 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b). Elas tratam, respectivamente, dos princípios e estrutura da ACV, e dos requisitos e orientações para a aplicação do método. Foram escolhidas como objeto do estudo porque descrevem e fundamentam com detalhes as bases conceituais e estruturais deste. Foi feita a leitura integral das normas de forma a se compreender os principais aspectos, fases e conceitos da ACV.

Por meio de um método de procedimento comparativo e monográfico, foram identificadas, em uma análise qualitativa da estrutura metodológica e conceitual, as lacunas de ACV que os preceitos ecossistêmicos poderiam suprir. Assim, propôs-se uma alteração conceitual e estrutural do modelo de sistema de produto para a ACV de materiais de construção, constituído das fases de cultivo e ou extração das matérias-primas até o transporte ao local de aplicação do material, ou seja, o canteiro de obras. Neste, introduziram-se os elementos e fluxos da estrutura de cascata. A forma do novo modelo foi, então, ilustrada por meio de um fluxograma.

4. RESULTADOS

Ao se analisar a estrutura metodológica da ACV é possível perceber que a abordagem ecossistêmica pode ser inserida no modelo de sistema de produto por novas delimitações na fronteira do sistema em estudo, em termos dos fluxos elementares e de produtos e na incorporação do modelo de cascata aos modelos de caracterização, conforme Figura 2.

Figura 2: Estrutura de sistema de produto de ACV ecossistêmica para materiais de construção.



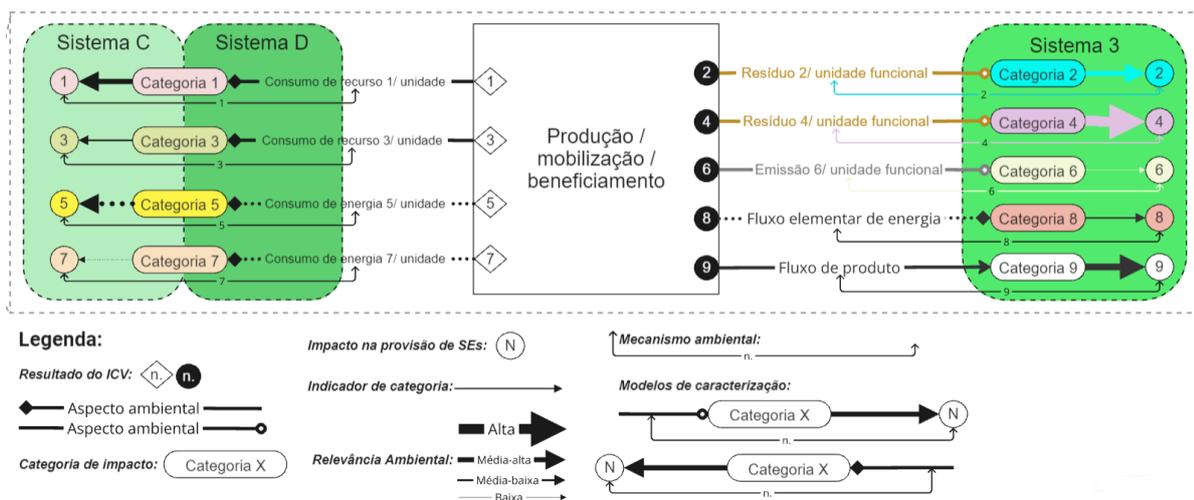
Fonte: Autores.

No que concerne o objetivo da ACV que utiliza este modelo de sistema desenvolvido, e que aqui será chamada de Avaliação Ecológica do Ciclo de Vida para Materiais de Construção (AECV-MC), esta visa ser executada de forma a permitir com que profissionais da construção civil e também leigos, possam tomar decisões relativas à escolha os materiais que irão empregar em suas obras. Os materiais selecionados deverão ser aqueles que possuem melhor desempenho ambiental, provado pelo método em estudo. Ou seja, aqueles que menos afetem negativamente a provisão de serviços ecossistêmicos.

Dado que Zari (2019) divide os materiais de construção em três tipos, materiais que são cultivados, materiais que são extraídos ou minerados e materiais que são feitos ou processados, pode-se considerar, para a modelagem genérica do ciclo de vida de qualquer um destes materiais, pelo menos quatro processos elementares inseridos dentro da fronteira: cultivo ou extração de matérias primas; transporte até a fábrica; produção, também conhecida na linguagem ecossistêmica por mobilização e, por fim, transporte até o consumidor, de acordo com a Figura 2.

Na Figura 3 os sistemas que estão fora da fronteira e ligados aos processos elementares por entradas são, pelo menos, dois. Isto se dá, pois a energia e os produtos usados naquela fase do ciclo de vida podem vir de lugares diferentes. Igualmente, os ecossistemas que fornecem fluxos de material e energia podem não ser os mesmos do sistema de onde as matérias-primas são extraídas ou cultivadas. No caso dos processos de transporte, os ecossistemas que fornecem as entradas como, por exemplo, de energia em forma de combustível, podem ser tanto os do local de saída, quanto os de chegada do fluxo intermediário de produto, ou até mesmo um terceiro ecossistema. Ou seja, as atividades de deslocamento impactam o ecossistema de saída e de chegada do fluxo de produto intermediário pelo consumo de recursos, energia e liberações de emissões e resíduos.

Figura 3: Fluxos em recorte de um dos processos elementares



Fonte: Autores.

Igualmente, os fluxos elementares entre sistemas, também compreendidos como aspectos ambientais, impactam tanto na provisão de SE dos sistemas que os fornecem para o sistema em estudo, quanto daqueles para os quais as saídas do

sistema principal se direcionam. Ou seja, os fluxos elementares de produto e energia – como o consumo de recursos e energia para o processo de beneficiamento do material – quanto os fluxos de produto e liberações – como a liberação de energia na forma de calor, as emissões e os resíduos – afetam o fornecimento de SE nos sistemas fornecedores e receptores.

Uma mudança maior na estrutura do sistema de produto e da condução da ACV se faz necessária no que concernem especificamente os fluxos de entrada e saída levantados e quantificados no inventário de ciclo de vida (ICV) e seu relacionamento às categorias de impacto. Conforme a Figura 3, que amplia o processo elementar de produção, pode-se perceber que as categorias de impacto são passíveis de se tornar categorias de impacto em SE. Assim, o ponto final de categoria se transforma de ecossistema impactado, como preconiza a ACV original, em pontos finais na provisão de serviços ecossistêmicos daquele meio afetado. Zari (2019) determina, inclusive, que os serviços mais afetados pelo ciclo de vida dos materiais de construção são a regulação climática, os serviços de purificação, provisão de habitat, água potável, comida e energia e ciclagem de nutrientes. Estes podem, então, ser pré-definidos como categorias-padrão.

Visto que não há métodos pré-determinados de caracterização dentro da ACV, o modelo de sistema juntamente com os modelos de caracterização propostos para se compreender a relação dos resultados do inventário com os impactos na provisão dos SE seguirão a lógica do modelo de cascata. Isto pode ser executado, pois este modelo permite relacionar a apropriação dos SE em cada um dos processos elementares com as suas conseqüências ambientais. No entanto, mais estudos são necessários para se desenvolver um modelo de caracterização padrão para a AECV-MC.

5. DISCUSSÕES

A abordagem ecossistêmica e a ACV são complementares, conforme declarado em estudos anteriores e, por isso, a primeira pode compor a última segundo recomendação das normas pertinentes. A incorporação da estrutura de cascata e das categorias de impacto, já levantadas por Zari (2019) e consolidadas na CICES, tornam a ACV dos materiais de construção melhor estruturada em termos de um padrão e bases conceituais, facilitando a comparação entre sistemas de produtos.

A principal alteração da estrutura de um modelo de sistema de produto convencional para um que incorpore SE, segundo a proposição desta investigação, é que as entradas no sistema de produto analisado se tornam impactos nos serviços ecossistêmicos do sistema de onde são extraídos, e as categorias de impacto se tornam categorias de impacto na provisão de SE. Além disto, os sistemas que fazem fronteira com o avaliado devem ser incluídos na análise. Isto faz com que o foco da avaliação deixe de ser apenas o produto para incorporar também as conseqüências do seu ciclo de vida no meio. Igualmente, a combinação destes dois campos métodos de análise a avaliação ambientais se justifica, pois a

ACV contribui para a abordagem ecossistêmica como um método internacionalmente aceito, tornando mais fácil o entendimento de como os SE são alterados por sistemas humanos. De mesma forma, a incorporação da abordagem ecossistêmica na estrutura do modelo de sistema de produto pode fornecer uma unificação para os modelos de caracterização e tornar a ACV menos subjetiva e mais padronizada. Similarmente a estrutura de cascata. Por isto, apesar de ser um esforço primário, a alteração do modelo de sistema de produto e a proposta de um novo tipo de ACV que incorpore os preceitos da teoria ecossistêmica propostas aqui se mostram promissoras e coerentes com ambas as temáticas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se, contudo, que ainda há muito o que se investigar na relação metodológica e conceitual entre a ACV e a abordagem ecossistêmica. Contudo, foi possível perceber que a utilização do modelo de cascata permite traçar um caminho padrão, constituindo-se em um modelo de caracterização único e pré-definido, de modo a mitigar as lacunas que a ACV possui, sobretudo no quesito de ligação entre os resultados de ICV e as categorias de impacto.

Esta pesquisa permitiu, de modo inicial, apontar em que etapas e em quais conceitos as abordagens em estudo poderiam se fundir de forma coerente. É sabido, no entanto, que a interseção das duas abordagens não precisa se limitar ao contexto dos materiais de construção. Esta pode se estender a qualquer produto que seja fruto da interação do capital natural com o humano e o manufaturado. Contudo, a proposta feita cabe somente ao ciclo de vida de berço ao portão do canteiro de obras, não englobando as fases de uso, manutenção e descarte ou reciclagem do material. Portanto, para se traçar um modelo genérico para o ciclo de vida de produtos e serviços em geral, que incorpore todas as fases, são necessárias maiores investigações. Igualmente, sabe-se que nos resultados de ICV a falta das dimensões espacial e temporal resulta em incertezas, assim como na avaliação da provisão de SE. Ou seja, este ainda é um desafio a ser superado em ambas as disciplinas.

O produto desta pesquisa exploratória, portanto, se configura como inédito no âmbito da ACV, e pode ser incorporado em softwares ou plataformas para avaliação do desempenho ambiental na construção civil, como o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC) (Belizario-Silva, *et al.*, 2023). Com isto, as conclusões destes estudos podem ser tornar mais precisas e voltadas para consequências efetivas dos sistemas analisados no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2014a. 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14044**: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2014b. 46 p.

BELIZARIO-SILVA, *et al.* The Sidac system: Streamlining the assessment of the embodied energy and CO₂ of Brazilian construction products. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.]: Elsevier, v. 421, n. 138461, 2023, p.1-12.

BRASIL. Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicações. *In*: _____ **ACV**, [Brasília]: IBICT, [2018]. Disponível em: <https://acv.ibict.br/sobre/quem-somos/>. Acesso em: 28 mar. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas Programa Nacional de Conservação da Biodiversidade. **A Convenção sobre Diversidade Biológica**: CDB Cópia do Decreto Legislativo nº 2, de 5 de junho de 1992. Brasília, DF: MMA, 2000. 30 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/textoconvenoportugus.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2023.

BUCKHARD, Benjamin; MAES, Joaquim. **Mapping Ecosystem Services**.Sofia: Pensoft Publishers, 2017. 374 p.

COLTRO, Lêda (org.). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. 75 p.

COSTANZA, Robert; de GROOT, Rudolf; BRAAT, Leon; KUBISZEWSKI, Ida; FIORAMONTI, Lorenzo; SUTTON, Paul; FARBER, Steve; GRASSO, Monica. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, [S.l.]: Elsevier, v. 28, n. part A, p. 1–16, 2017.

DE GROOT, Rudolf; WILSON, Mathew A.; BOUMANS, Roelof M. J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. The dynamics and value of ecosystem services: integrating economic and ecological perspectives. **Ecological Economics**, [S.l.]: Elsevier, v. 41, n. 3, p. 393–408, jun. 2002. Edição Especial.

EMBRAPA. Serviços ambientais. *In*: _____. **Site Oficial da Embrapa**, Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, [S.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-servicos-ambientais/sobre-o-tema>. Acesso em: 28 mar. 2024.

HAINES-YOUNG, Roy; POTSCHIN, Marion. **Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1**: Guidance on the Application of the Revised Structure. Nottingham, Reino Unido: Fabis Consulting, 2018. Versão 5.1. Disponível em: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2023.

LA NOTTE, Alessandra; d'AMATO, Dalia; MÄKINEN, Hanna; PARACCHINI, Maria Luisa; LIQUETE, Camino; EGOH, Benis; GENELETTI, Davide; CROSSMAN, Neville D. Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the

cascade framework. **Ecological Indicators**, [S.l.]: Elsevier, v. 74, n. 1, p. 392–402, 2017.

PAVAN, Ana Laura Raymundo. **Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida no Brasil**: Desenvolvimento de fatores de caracterização regionais para serviços ecossistêmicos relacionados à qualidade do solo. 2019. 190 f. Tese (Programa de Pós- Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-04042019-105842/publico/TesePavanAnaLauraRaymundoCorrig.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2024.

SPANBERG, Joaquim H.; VON HAAREN, Christina; SETELLE, Josef. The ecosystem service cascade: Further developing the metaphor. Integrating societal processes to accommodate social processes and planning, and the case of bioenergy. **Ecological Economics**, [S.l.]: Elsevier, v. 104, 2014, p. 22–32.

TEN BRINK, Patrick. Natural capital: an old concept with a new life. *In*: MONNOYER-SMITH, Laurence; PERRISSIN FABERT, Baptiste (eds.). **Nature and the wealth of nations**. Paris: Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable: Commissariat Général au Développement Durable, 2015, p. 41- 50. (Coleção Études et documents). Disponível em: https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0083/Temis-0083488/22322_ENG.pdf. Acesso em: 13 fev. 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Status Report for Buildings and Construction - Beyond foundations**: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. Nairobi: Global Alliance for Buildings and Construction:UNEP, 2024. 99 p.

VANDERWILDE, Calli P.; NEWELL, Joshua P. Ecosystem services and Life cycle assessment: A bibliometric review. **Resources, Conservation & recycling**, [S.l.]: Elsevier, v. 169, n. 105461, p. 1-15. 2010.

ZARI, Maibritt Pedersen. Ecosystem services impacts as part of building materials selection criteria. **Materials Today Sustainability**, [S.l.]: Elsevier, v. 4, n. 3, p. 1-10. 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente ao meu eterno amigo e professor aposentado da UFMG, prof. Dr. Eduardo Cabaleiro Cortizo, por sempre me inspirar a continuar a aprender. Agradeço também ao meu marido e aos meus pais por vibrarem com minhas vitórias. E, por fim, agradeço aos meus alunos, da Marina Rocha – Mentoria Acadêmica, por todo carinho e reconhecimento.