

Avaliação do impacto do ciclo de vida: uma discussão metodológica

Life cycle impact assessment: a discussion methodology

Thiago José Florindo^{1*}, Giovanna Isabelle Bom de Medeiros¹, Cláudio Favarini Ruvivaro¹, Jaqueline Severino da Costa¹

1. Mestrado em Agronegócios - Universidade Federal da Grande Dourados - Rodovia Dourados - Itahum, km 12, Dourados- Mato Grosso do Sul

* Autor para correspondência: tjflorindo@gmail.com

Resumo A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) consiste na associação de dados do inventário do ciclo de vida a categorias de impacto específicas, por meio de diferentes métodos de avaliação. Desta forma, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) proporciona uma visão abrangente dos impactos ambientais gerados por um determinado processo, contudo, os métodos de avaliação de impacto apresentam divergências sobre suas categorias de impactos ambientais. Com base em uma pesquisa bibliográfica, investigou-se a variedade de métodos de atribuição de impacto disponíveis, com abordagens distintas, objetivando facilitar a compreensão acerca dos métodos existentes. Os resultados apontam que vários métodos têm sido descritos na literatura, evidenciando algumas limitações de categoria de impacto sobre uso de água, escassez hídrica e substâncias nocivas à saúde humana, aspectos que devem ser superados pelos métodos de AICV.

Palavras-chave: sustentabilidade; LCA; categoria de impacto; meio-ambiente.

Abstract The life cycle impact assessment (LCIA) consists in associating inventory data of life cycle to specific categories of impact, through different methods of assessment. Thus, the life cycle assessment (LCA) provides a comprehensive view of the environmental impacts generated by a certain process, however, the impact assessment methods have differences on their categories of environmental impacts. Based on a literature review, we investigated the impact of variety of allocation methods available, with different approaches, in order to facilitate the understanding of the methods and the choice for work in LCA. The results show that several methods have been described in the literature, showing some limitations on use of water, water scarcity and harmful substances to human health, which that must be overcome by the methods of LCIA.

Keywords: sustainability; LCA; impact category; environment

Introdução

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) está entre as principais ferramentas para quantificação das emissões, avaliando os aspectos e impactos potenciais associados a produtos, processos e serviços mediante a associação dos dados do inventário do ciclo de vida a categorias de impacto específicas, num processo que consiste na Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (Harding, 2013; Piekarski *et al.* 2012).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR ISO 14040 (2009) explicita a importância indicando que a aplicação direta da ACV se dá para o desenvolvimento e melhoria de produtos, para o planejamento estratégico das organizações, para a elaboração de políticas públicas e em estratégias de marketing. Dessa forma, os métodos de ACV são essenciais para analisar o impacto ambiental em áreas prejudicadas pelo aquecimento global e esgotamento de recursos naturais, que necessitam de recuperação.

O desafio da AICV é avaliar o impacto potencial das substâncias emitidas empregando um procedimento aplicável a todas as substâncias de forma consistente, utilizando uma unidade comum de medida, para resultar em dados comparáveis entre categorias de impacto (Owsianiak *et al.* 2014; Pizzol *et al.* 2011). Para superar esse desafio, ao longo dos anos, os pesquisadores têm desenvolvido vários métodos de avaliação.

Dada à infinidade de metodologias disponíveis e em contínuo aprimoramento, pretende-se elucidar quais são os principais métodos aplicados, as convergências e divergências entre si e o tipo de abordagem apresentada, com o objetivo de facilitar a compreensão, descrever o estágio dos estudos acerca do tema e gerar questões para o desenvolvimento de pesquisas futuras.

Avaliação do Ciclo de Vida

O conceito da avaliação do ciclo de vida (ACV) de um produto surgiu na década de 1960, aplicados a modelos de avaliação de custos e recursos naturais, evoluindo na década de 1970 para estudos de avaliação emergente. Muitos nomes foram utilizados para a avaliação, como por exemplo, eco-equilíbrio (Alemanha, Suíça, Áustria e Japão) e análise de recursos e do meio ambiente nos Estados Unidos (Andersson *et al.* 1994; Roy *et al.* 2009). Contudo, o conceito de ACV pouco evoluiu, ganhando

ênfase a partir de 1985, motivado pela necessidade de uma ferramenta que permitisse a comparação de produtos a partir do ponto de vista ambiental, visando atender os critérios de rotulagem ecológica da Comunidade Europeia (Andersson *et al.* 1994).

A partir da década de 1990, vários esforços foram realizados com o intuito de padronizar a metodologia de ACV. Entre eles, destacam-se vários projetos da *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) e *United States Environmental Protect Agency* (USEPA), buscando desenvolver um consenso sobre um quadro para a realização de análise de inventário de ciclo de vida e avaliação de impacto (Roy *et al.* 2009). Como resultado desses esforços, o consenso foi alcançado em quadro global de ACV e uma metodologia bem definida para elaboração do inventário.

A aplicação da ACV tornou-se frequente no setor privado e órgãos públicos, proporcionando melhorias nos produtos quanto a aspectos ambientais, apoio à tomada de decisão e avaliação de riscos. Analisando os potenciais impactos de um produto e identificando seus pontos críticos ao longo de seu ciclo de vida, proporciona decisões fundamentadas com o objetivo de contribuir para um desenvolvimento sustentável (Lehmann *et al.* 2013).

A avaliação do Ciclo de Vida (ACV) consiste em uma metodologia com a finalidade de estimar e avaliar os impactos ambientais atribuíveis ao ciclo de vida de um produto. tais como as mudanças climáticas, destruição do ozônio estratosférico, ozônio troposférico (poluição atmosférica), eutrofização, acidificação, riscos toxicológicos sobre a saúde humana e os ecossistemas, esgotamento dos recursos naturais, uso da água, uso da terra, entre outros (Rebitzer *et al.* 2004). A ACV quantifica os potenciais impactos por meio de uma análise do "berço ao túmulo", como apresentado na Figura 1, através da definição e utilização de uma unidade funcional, permitindo estudos comparativos (Kloepffer, 2008).

A ACV é normatizada pela NBR ISO 14040: 2009, que delimita as quatro fases da aplicação do método: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação, as quais são representadas na Figura 2.

A definição do objetivo e escopo do estudo pode ser considerada como uma das etapas mais importantes da avaliação, sendo que todo o estudo é realizado de acordo com as declarações dessa fase, definindo seu objetivo, os limites do sistema e sua unidade funcional (FU) (Finnveden *et al.* 2009). O objetivo da FU é proporcionar uma unidade de referência para a qual os dados de inventário são normalizados (Roy *et al.* 2009).

A análise de inventário engloba um extenso banco de dados de materiais envolvidos no produto ou sistema, incluindo o levantamento, a coleta e a análise dos dados necessários para a ACV (Guinné, 2001).

Segundo o mesmo autor, devem conter, a princípio, dados sobre todas as entradas e saídas de cada processo individual do sistema examinado, como fluxo de poluentes, materiais e recursos, que serão apresentados de forma quantificada para que, após o tratamento, possibilitem a obtenção dos impactos ambientais e posteriormente a avaliação desses impactos. A norma ISO 14040: 2009 aponta os elementos obrigatórios dessa fase: seleção das categorias de impacto, classificação e caracterização e os elementos opcionais: normalização, agrupamento, ponderação e análise adicional da qualidade dos dados.

De acordo com Piekarski *et al.* (2012), na etapa de seleção de categorias de impactos, de acordo com o objetivo e escopo, serão identificadas as preocupações ambientais, as categorias e os indicadores que serão utilizados. Os autores explicam que, na etapa seguinte, as entradas e saídas do inventário que contribuem para causar o impacto ambiental serão classificadas de acordo com o problema, ou seja, os dados do inventário serão correlacionados com as categorias de impacto.

Desta forma, o inventário é elaborado contabilizando todas as externalidades geradas durante a atividade analisada. A partir do inventário gerado, na fase avaliação de impacto é calculado o impacto resultante de cada item contabilizado no inventário (Weidema, 2015). Existem vários métodos para classificar e caracterizar o impacto do ciclo de vida dos fluxos para o meio ambiente, o que pode complicar a comparação dos diferentes estudos de ACV. Na avaliação de impacto, dois métodos são seguidos, atribuição de impacto orientada a ponto médio (midpoint) e métodos orientados a ponto final (*endpoints*). Nas abordagens orientadas a *endpoint*, os fluxos são classificados de acordo com as áreas de contribuição (Arbaut *et al.* 2014).

O Objetivo dos métodos de atribuição de impacto é simplificar a complexidade de centenas de fluxos em algumas áreas ambientais de interesse. Os métodos orientados a ponto final (*endpoint*) também classificam os fluxos de um sistema em vários temas ambientais, mas eles têm por objetivo modelar o dano de cada externalidade de acordo com o seu efeito sobre a saúde humana, a saúde do ecossistema ou danos aos recursos (Weidema, 2015).

A etapa de interpretação e análise de impacto consiste na fase final, sendo feitas constatações da análise de inventário e da avaliação de impactos, evidenciando pontos críticos, limitações, identificando as fases do ciclo de vida que mais causam impactos e fornecendo recomendações finais. Esta etapa permite a identificação de pontos que necessitam de melhorias, inovação nos produtos ou processos de fabricação, visando à preservação ambiental (Suer *et al.* 2004).

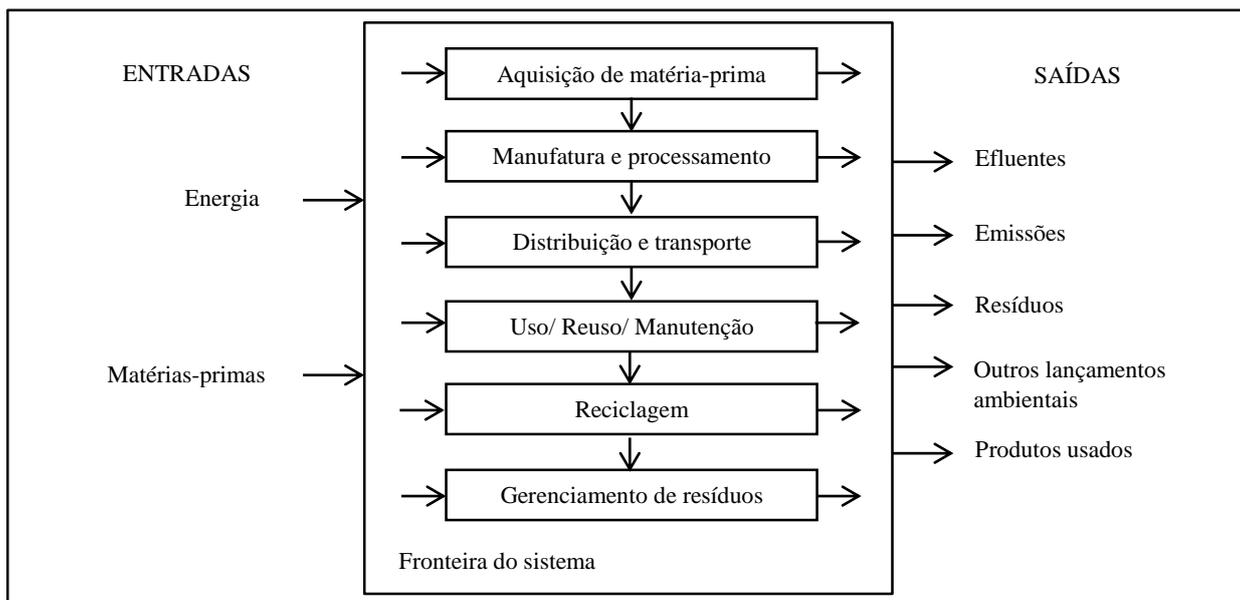


Figura 1 Abrangência da Avaliação do Ciclo de Vida. Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Fava (1991)

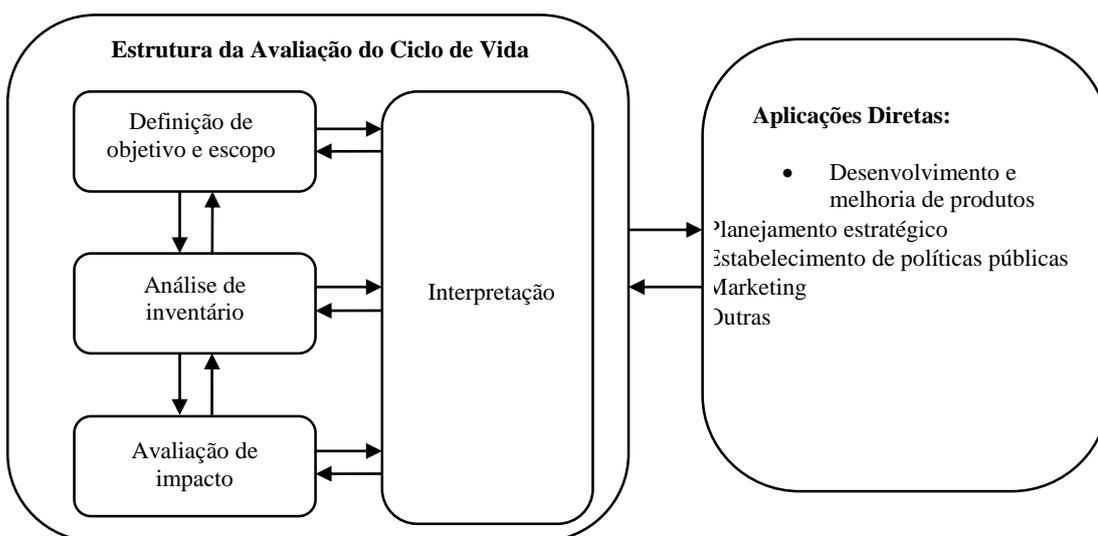


Figura 2: Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida (ISO 14040: 2009). Fonte: Elaborado pelos autores a partir da ISO 14040: 2009.

Métodos

A pesquisa foi realizada por um levantamento bibliográfico visando identificar os principais métodos de atribuição de impacto utilizados para avaliação do ciclo de vida. Foram utilizados os mecanismos de buscas da *Science Direct*, *Web Of Science* e *Scopus*.

Após a classificação dos métodos de atribuição, foi realizada uma pequena descrição dos métodos com maior frequência de utilização, identificando seus autores e ano de publicação e apresentando suas principais características quanto à abrangência, delimitação e utilização. Foram mapeadas as respectivas categorias de impacto *midpoint* e *endpoint* abordadas em cada método.

Posteriormente, os métodos foram comparados de acordo com o escopo de suas categorias de impacto, identificando as convergências e divergências.

Resultados

Métodos para Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida

Os modelos de caracterização de impacto são conhecidos como métodos para AICV e apresentam características individuais específicas, podendo ser classificados em duas categorias de acordo com sua abordagem: *midpoint* e *endpoint* (Cavalett *et al.* 2013). De acordo com os autores, ao nível *midpoint* (*ponto médio*), todas as substâncias referentes ao AICV possuem características que não representam as consequências finais sobre o percurso ambiental das emissões listadas no inventário do ciclo de vida (ICV), mas são indicadores de impacto em potencial. Já a

modelagem *endpoint* (*ponto final*), consiste basicamente em caracterizar a gravidade ou as consequências de categorias de impacto de ponto médio, ou seja, quantificar as consequências finais das externalidades nas respectivas áreas de proteção: danos aos ecossistemas, saúde humana e recursos proteção.

A Figura 3 apresenta uma distinção entre *midpoints* e *endpoints*, onde os indicadores de ponto final são definidos ao nível das áreas de proteção e os pontos médios indicam impactos em algum lugar entre a emissão e o ponto extremo. Evidencia-se a visão holística da AICV sobre os impactos ambientais, já que considera a possibilidade de que esses afetem uma ou mais áreas de proteção e que existam não somente os impactos tóxicos (por exemplo, o risco químico), mas também os impactos associados de emissões de poluentes atmosféricos (aquecimento global, destruição da camada de ozônio, formação de *smog*), bem como os impactos de diferentes formas de uso da terra e da água, do ruído e da radiação e esgotamento de recursos renováveis e não-renováveis. Dessa forma, cada método de AICV considera um conjunto específico de categorias de impacto. As principais categorias *midpoint* e *endpoint*, assim como as suas relações, são ilustradas na Figura 4.

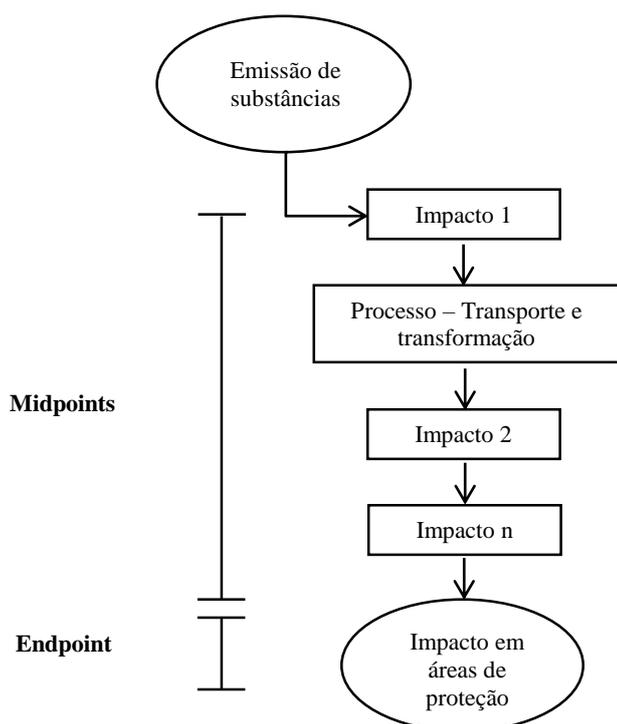


Figura 3 Representação esquemática de um mecanismo ambiental subjacente à modelagem Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida. Fonte: Finnveden *et al.* (2009), adaptado de Hauschild and Potting, 2005.

De acordo com CCI (2010), os métodos frequentemente utilizados são os apresentados no Quadro 1, juntamente com o resultado do mapeamento das categorias de impacto. Dentre os métodos identificados, seis mais utilizados serão detalhados nos tópicos seguintes.

CML 2001

Desenvolvido por um grupo de cientistas do Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, Holanda, o método tem por objetivo interligar os fatores de avaliação de impacto propostos para a abordagem aos dados do *Ecoinvent* (Hischier *et al.* 2009). A aplicação do método *midpoint* consiste em associar os fluxos elementares de dados do *Ecoinvent* aos nomes de substâncias dadas na publicação dos fatores de caracterização (Guinée *et al.* 2001).

Uma emissão identificada no inventário do ciclo de vida é convertida numa contribuição para o efeito de um problema ambiental multiplicando-a por um fator equivalente (Ferreira, 2004). O cálculo do fator de normalização de uma determinada categoria de impacto é obtido através da soma dos produtos gerados da multiplicação de todos os fatores por suas respectivas emissões (Guinée *et al.* 2001).

Eco-Indicador 99

O Eco-Indicador 99 é um dos métodos *endpoint* baseados no Eco-Indicador 95, um dos primeiros métodos de avaliação de impactos ambientais, englobando ainda a análise de degradação de recursos naturais, usos da terra e efeitos de radiação (Ecoinvent, 2010).

Nigri *et al.* (2009) explicam que existe uma etapa de distribuição de pesos de acordo com o prejuízo gerado por cada categoria ao meio ambiente, tendo como resultado um indicador do impacto ambiental gerado por um determinado material, o que permite a comparação entre o ciclo de vida de produtos ou processos que atendam situações semelhantes.

Ainda, de acordo com os autores, o método distribui a avaliação dos impactos em três abordagens, sendo: igualitária, para uma perspectiva de longo prazo, caracterizada por qualquer comprovação científica; individualista, com uma perspectiva de curto prazo, caracterizada somente por efeitos comprovados; e hierárquica, onde os impactos ambientais são incluídos a partir do consenso entre os especialistas.

EDIP 97 – Design Ambiental de Produtos Industriais

O método EDIP 97 foi desenvolvido durante quatro anos na década de 1990 na Dinamarca, sendo fruto de esforços conjuntos da Universidade Técnica da Dinamarca, empresas privadas e a Agência de Proteção Ambiental Dinamarquesa (Ecoinvent, 2010).

O método consiste em uma abordagem *midpoint* que transcreve os dados do inventário do sistema examinado em contribuições potenciais para vários impactos ambientais, distribuídos em grupos principais, sendo esses recursos e ambiente de trabalho (Guinée *et al.*, 2001).

Os autores explicam que sua aplicação consiste em três etapas diferentes:

1. Potencial de impacto ambiental: semelhante à maioria dos outros métodos, a contribuição de cada emissão individual às diferentes categorias de impacto é calculada usando os respectivos fatores de equivalência.
2. Normalização com uma referência comum: a fim de verificar qual dos vários impactos potenciais é mais relevante, em comparação a uma referência comum.
3. Ponderação dos potenciais de impacto normalizados: trata-se do cálculo dos fatores de ponderação com base em considerações científicas, políticas e normativas.

EDIP2003

Frischknecht *et al.* (2007) afirmam que a metodologia EDIP2003 é uma evolução da EDIP 97, pois inclui um maior número de categorias de impactos, assim como a exposição da vulnerabilidade dos sistemas de destino, o que permite melhor avaliação da relevância ambiental dos impactos calculados, contribuindo para uma interpretação mais próxima da realidade.

ReCiPe 2008

O ReCiPe 2008 surgiu com o objetivo de integrar a abordagem orientada para os problemas ambientais do método CML 2001, com a orientada para os danos, do EcoIndicator 99, por isso é caracterizado por categorias *midpoint* e *endpoint* (Goedkoup *et al.*, 2010). Com base no EcoIndicador 99, manteve as perspectivas individualista, hierarquizada e igualitária em sua modelagem (Ecoinvent, 2010).

Impact 2002+

Desenvolvida originalmente no Instituto Federal Suíço de Tecnologia – Lausanne (EPFL), sua metodologia apresenta uma implementação viável de uma abordagem combinada *midpoint/endpoint*, ligando todos os tipos de resultados do inventário do ciclo de vida (Jolliet *et al.* 2003). Dessa forma, usufrui das vantagens das metodologias orientadas para o problema e das baseadas nos danos.

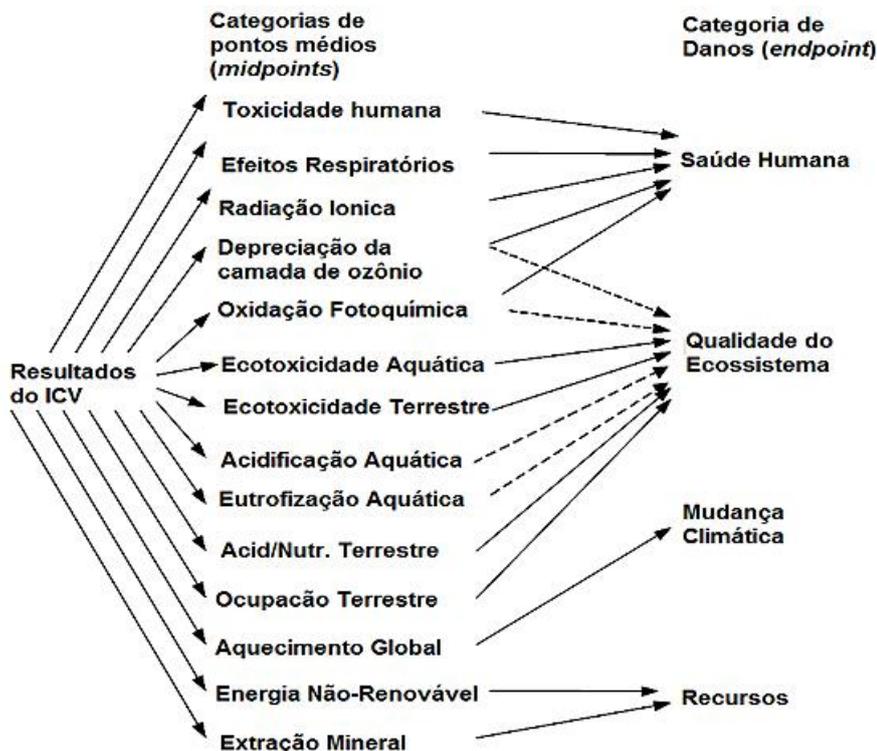


Figura 4 – Categorias de impactos de pontos médios e danos para o método Impact2002+. Fonte: Piekarski *et al.* (2013).

Quadro 1: Comparação das metodologias de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida. Fonte: elaborado pelos autores com base em CCI (2010) e ECOINVENT (2010).

Categorias de impacto <i>Midpoint</i>	CML 2002	Eco-indicador 99	EDIP97	EDIP	EPS 2000	IMPACT 2002 +	LIME	LUCAS	ReCiPe	Swiss Ecoscarcity	TRACI	MEEnP	USETox
Mudanças Climáticas	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Destruição da camada de Ozônio	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Toxicidade humana	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Radiação ionizante		X				X		X	X	X			
Criação fotoquímica de ozônio	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Acidificação	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Eutrofização terrestre	X	X	X	X		X		X		X			
Eutrofização aquática	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Ecotoxicidade	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Uso da terra	X	X				X	X	X	X	X	X		
Consumo de recursos	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Ruído				X									
Acidentes						X							
Saúde Humana		X			X	X	X		X	X			X
Mudanças climáticas, danos <i>midpoint</i>					X	X			X	X			
Destruição da camada de Ozônio					X	X			X	X			
Toxicidade humana, inclusive no local de trabalho					X	X			X	X			X
Radiação ionizante									X	X			
Criação fotoquímica de ozônio					X				X	X			
Ruído					X								
Meio ambiente		X			X	X	X		X				
Mudanças climáticas, danos <i>midpoint</i>					X	X			X	X			
Acidificação					X	X			X	X			
Eutrofização terrestre e aquática					X	X			X	X			
Ecotoxicidade terrestre e aquática					X	X			X	X			
Uso da terra					X	X			X				
Fontes naturais	X	X	X	X	X	X	X		X	X			
Energia					X	X			X	X			
Minerais					X	X			X				
Água										X			

Discussão

Avaliar o impacto das externalidades geradas de uma determinada atividade consiste em uma das fases mais importantes da Avaliação do Ciclo de Vida. No entanto, torna-se uma atividade difícil, uma vez que existem vários métodos de atribuição de impacto e devem ser selecionados de acordo com o objetivo do estudo. Cada método de AICV possui uma

particularidade, um objetivo e um escopo diferente, portanto, as características e os objetivos pretendidos é que determinarão a escolha, que será crucial para que os resultados obtidos apresentem maior confiabilidade (ARBAUT *et al.* 2014).

Alvarenga (2012) afirma que existe uma grande dificuldade de encontrar um método de AICV ideal para um determinado estudo, pois todos apresentam vantagens e desvantagens. Desse modo, uma alternativa

indicada pelo autor é a realização de um de estudo ACV com a aplicação de mais de um método de AICV.

Em relação às categorias de impacto, nota-se que 85% dos métodos abordam categorias *midpoint*, porém, com pouca atenção é dada aos critérios de ruídos e acidentes. Dentre os *endpoints*, os danos dos ruídos à saúde humana e da água para os recursos naturais, são quase inexplorados pelas metodologias presentes.

De acordo com Weidema (2015), os métodos de avaliação do impacto Eco-Indicator 99 e ReCiPe2008 são comparados com relação à importância relativa absoluta de que eles atribuem às diferentes categorias

de impacto a *midpoint*. A comparação é feita por uma valorização monetária comum dos três indicadores que são comuns aos três métodos: o bem-estar humano, a natureza e recursos (Harding, 2013). O método ReCiPe2008 avalia o impacto de uma utilização de recursos adicionais pelo aumento marginal nos custos futuros de extração, assumindo que não há substituição de recursos.

O EPS destaca-se como um método que considera exclusivamente categorias de impacto *endpoint*, enquanto que LUCAS, TRACI e MEEuP tratam somente de categorias *midpoint*.

Quadro 2 Principais métodos de AICV utilizados. Fonte: elaborado pelos autores com base em CCI (2010) e ECOINVENT (2010).

Método	Abordagem	Finalidade do método	Autor(es)
CML 2002	Predominantemente <i>midpoint</i>	Fornecer melhores práticas para os indicadores <i>midpoint</i> para a operacionalização da série de Normas da ISO 14040: 2009.	Jeroen Guinée (2001)
Eco-indicador 99	Predominantemente <i>midpoint</i>	Desenvolver um método <i>endpoint</i> , que pode ser usado em qualquer ACV, com atenção especial para a facilitação do painel ponderação.	Mark Goedkoop (2010)
EDIP97 / EDIP 2003	Predominantemente <i>midpoint</i>	EDIP97 - Apoiar a análise ambiental e síntese de produtos para ACV industriais, abrangendo três áreas: meio ambiente, recursos e ambiente de trabalho. EDIP 2003 – Fornecer categorias de impactos não abordadas pelo EDIP97.	Michael Hauschild (2005)
EPS 2000	<i>Endpoint</i>	Auxiliar designers e desenvolvedores de produtos na tomada de decisão.	Bengt Steen (2001)
IMPACT 2002+	<i>Midpoint/endpoint</i>	Proporcionar uma abordagem combinada, ligando todos os tipos de intervenções às categorias de dano: saúde humana, qualidade dos ecossistemas, alterações climáticas e de recursos.	Olivier Jolliet (2003)
LIME	Predominantemente <i>midpoint</i>	Desenvolver categorias <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i> e fatores de ponderação que reflitam as condições ambientais do Japão.	Norihiro Itsubo (2004)
LUCAS	<i>Midpoint</i>	Desenvolver metodologia adaptada ao contexto canadense	Ralph Rosenbaum (2008)
ReCiPe	<i>Midpoint/endpoint</i>	Combinar metodologias <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i> de maneira consistente.	Mark Goedkoop (2010)
Swiss Ecoscarcy or Ecological scarcity	<i>Midpoint/endpoint</i>	Fornecer caracterização e fatores de ponderação de várias emissões e extrações com base em metas de políticas públicas.	Rolf Frischknecht (2006), Arthur Braunschweig (1997)
TRACI	<i>Midpoint</i>	Desenvolver um método de avaliação de impacto que represente as condições nos EUA e que esteja em consonância com a política de EPA.	Jane Bare (2000)
MEEuP	<i>Midpoint</i>	Fornecer uma metodologia que permita avaliar o grau de consumo de energia pelos produtos, com base nos critérios da Ecodesign of EuP Directive 2005/32/EC.	René Kemna (2005)
USETox	<i>Midpoint/endpoint</i>	Fornecer elementos de caracterização para a toxicidade humana e a ecotoxicidade da água doce na ACV.	Michael Hauschild (2005)

Pode-se considerar o IMPACT 2002+, o ReCiPe e o Swiss Ecoscarcy / Ecological scarcity como os métodos mais completos, por abrangerem em grande escala ambas as categorias de impacto.

A Avaliação do Ciclo de Vida visa proporcionar uma visão abrangente dos impactos no meio ambiente, entretanto, nem todos os

tipos de efeitos são igualmente abrangidos pelos diferentes tipos de métodos de AICV. Isso porque, conforme apontam Finnveden *et al.* (2009), a dificuldade da falta de dados deve permanecer por muito tempo, em relação a substâncias específicas, já que a sociedade lida com uma infinidade de produtos químicos dos quais possui conhecimento limitado.

Owsianiak et al. (2014) apontam que além de impactos tóxicos sobre a saúde humana e os ecossistemas, todas as metodologias de atribuição de impacto devem listar as *entradas* mais significantes para os resultados.

Vários métodos têm sido descritos na literatura e estes precisam ser testados e avaliados. Evidenciaram-se algumas limitações quanto ao uso da água e a sua escassez, assim como alguns aspectos que interferem na saúde humana, que devem ser melhor trabalhados pelos métodos de AICV. A atribuição de impacto a uso de água, com o objetivo de identificar a pegada hídrica de um produto e os impactos ambientais ao ecossistema tem sido relatada como uma das principais limitações dos atuais métodos de AICV (Arbaut et al., 2014; Harding et al., 2013).

Considerando-se que as principais diferenças entre os métodos de comparação dependem de algumas suposições fundamentais, o desenvolvimento dos métodos de avaliação do impacto deve centrar-se principalmente na melhoria dessas premissas e suas bases de dados, nomeadamente a modelagem dos impactos na saúde humana do aquecimento global, mudanças de tecnologia para recursos escassos, a relação causal entre o uso da terra humana, ocupação da terra, e de transformação de terra, e o tempo de relaxamento para áreas naturais. É notável que todas estas questões críticas diz respeito a impactos que têm horizontes de tempo longos e elevada incerteza, e onde a modelagem marginal é particularmente importante e complicado.

Existe uma necessidade de estruturação interdisciplinar das áreas da ACV e da elaboração de programas específicos, de modo que propiciem o desenvolvimento e a manutenção de bases de dados, a garantia de qualidade, a consistência e a harmonização dos métodos, o que demanda forte colaboração internacional.

Referências

- Alvarenga, R. A. F. D., da Silva Júnior, V. P., & Soares, S. R. (2012). Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production. *Journal of Cleaner Production*, 28, 25-32.
- Andersson, K., Ohlsson, T., & Olsson, P. (1994). Life cycle assessment (LCA) of food products and production systems. *Trends in Food Science & Technology*, 5(5), 134-138.
- Arbaut, Damien et al (2014). Integrated earth system dynamic modeling for life cycle impact assessment of ecosystem services. *Science of The Total Environment*, v. 472, p. 262-272.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2009a). **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 2009b. **NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações**. Brasil.
- Bare J.C, Hofstetter P., Pennington D.W, De Haes Ha U. (2000) Life cycle impact assessment midpoints vs. endpoints: the sacrifices and the benefits. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v.5, n.5, 2000.
- Cavalett, O., Chagas, M. F., Seabra, J. E., & Bonomi, A. (2013). Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), 647-658.
- CCI. *ILCD Handbook: analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment*, 2010. Disponível em: < <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysis-online-12March2010.pdf> >. Acesso em: 15/01/2015.
- Ecoinvent (2010). **Ecoinvent data Vol.2.2: Implementation of Life Cycle Impact Assessment Method**. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Suíça.
- Fava, J. A. (1991). A technical framework for life-cycle assessments. **Society of Environmental Toxicology and Chemistry and SETAC Foundation for Environmental Education**.
- Ferreira, J. V. R. (2004). Análise de ciclo de vida dos produtos. **Gestão Ambiental**. Instituto Politécnico de Viseu.
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., ... & Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 91(1), 1-21.
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., ... & Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 91(1), 1-21
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H. J., Hischier, R., Doka, G., Bauer, C., ... & Loerincik, Y. (2007). Implementation of life cycle impact assessment methods. Data v2. 0 (2007). Ecoinvent report No. 3. **Ecoinvent Centre, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA)**, Duebendorf (Switzerland).
- Goedkoop, M., Oele, M., de Sch, A., & Vieira, M. (2010). **SimaPro Database Manual-Methods library**. Holanda: PRé Consultants.
- Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., De Koning, A., ... & Weidema, B. P. (2001). Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Parts 1 and 2. **Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML)**, Den Haag and Leiden, The Netherlands.
- Harding, K. G (2013). A technique for reporting life cycle impact assessment (LCIA) results. *Ecological Indicators*, v. 34, p. 1-6.
- Hauschild, M. Z., & Potting, J. (2004). Spatial differentiation in life cycle impact assessment-the EDIP-2003 methodology. **Guidelines from the Danish EPA**.
- Itsubo, N., Sakagami, M., Washida, T., Kokubu, K., & Inaba, A. (2004). Weighting across safeguard subjects for LCIA through the application of conjoint analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(3), 196-205.
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. (2003). **IMPACT 2002+ : a new life cycle impact**

- assessment methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 8(6), 324-330.
- Kemna, R., van Elburg, M., Li, W., & van Holsteijn, R. (2005). Methodology study eco-design of energy-using products. **Final Report. MEEUP Methodology Report. European Commission DG ENTR. VHK, Delft.**
- Kloepffer, W. (2008). Life cycle sustainability assessment of products. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 13(2), 89-95.
- Lehmann, A., Zschieschang, E., Traverso, M., Finkbeiner, M., & Schebek, L. (2013). Social aspects for sustainability assessment of technologies—challenges for social life cycle assessment (SLCA). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 18(8), 1581-1592.
- Nigri *et al.* (2009). Cimento tipo Portland: uma aplicação da análise do ciclo de vida Simplificada. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção.
- Owsianiak, Mikołaj et al (2014). IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 and ILCD's recommended practice for characterization modelling in life cycle impact assessment: a case study-based comparison. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 5, p. 1007-1021.
- Piekarski, C. M., da Luz, L. M., Zocche, L., & de Francisco, A. C. (2012). Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. **Revista Gestão Industrial**, 8(3).
- Piekarski, C. M., de Francisco, A. C., da Luz, L. M., de Bastiani, J. A., & Zocche, L. (2013) Aplicação da ACV na matriz elétrica Brasileira: Uma análise multi cenários em termos de mudança climática, qualidade de ecossistema, saúde humana e recursos. **Revista Espacios**. Caracas.
- Pizzol, M., Christensen, P., Schmidt, J., & Thomsen, M. (2011). Ecotoxicological impact of “metals” on the aquatic and terrestrial ecosystem: a comparison between eight different methodologies for life cycle impact assessment (LCIA). **Journal of Cleaner Production**, 19(6), 687-698.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., ... & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment international**, 30(5), 701-720.
- Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Gold, L. S., Huijbregts, M. A., Jolliet, O., Juraske, R., ... & Hauschild, M. Z. (2008). USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 13(7), 532-546.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. **Journal of Food Engineering**, 90(1), 1-10.
- Steen B. (2001). Identification of significant environmental aspects and their indicators. **NORDEPE, CPM Report Nr 2001:7**. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Suèr, P., Nilsson-Påledal, S., & Norrman, J. (2004). LCA for site remediation: a literature review. **Soil & sediment contamination**, 13(4), 415-425.
- Weidema, Bo P (2015). Comparing Three Life Cycle Impact Assessment Methods from an Endpoint Perspective. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 1, p. 20-26.