

## **AValiação DO CICLO DE VIDA (ACV) DE MATERIAIS E SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO: O ESTADO DA ARTE DA LITERATURA**

### **BRAUN, JULIE ANNE**

Doutoranda

Universidade Presbiteriana  
Mackenzie  
São Paulo / SP

julie.braun@protonmail.com

### **MONTE, RENATA**

Profª Doutora

Escola Politécnica da  
USP  
São Paulo / SP

renata.monte@usp.br

### **BELIZARIO-SILVA, FERNANDA**

Doutora

Instituto de Pesquisas  
Tecnológicas  
São Paulo/SP

fbsilva@ipt.br

### **RESUMO**

A escolha de um produto a ser aplicado em um sistema de impermeabilização tem sido fundamentada em critérios técnicos, dentre os quais estão o tipo de estrutura a ser protegida, a forma de atuação da água e tipos de exposição. Contudo, uma análise pouco presente no cenário nacional, mas de suma importância, é a do desempenho ambiental dos sistemas de impermeabilização. Partindo da premissa que os sistemas de impermeabilização devem proteger as edificações das ações da água, e que por isso impactam em sua durabilidade, a avaliação do seu desempenho ambiental deve considerar o ciclo de vida das edificações. O método mais indicado para avaliar o desempenho ambiental da construção é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Um estudo de ACV é composto pela compilação e avaliação das entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um produto ou sistema ao longo do seu ciclo de vida. Por meio desta metodologia, é possível formular estratégias para minimizar impactos ambientais e comparar produtos e sistemas com funções equivalentes, tornando-se uma ferramenta de projeto. Entretanto, para que seja viável fazer estudos de ACV de sistemas de impermeabilização, é necessário primeiramente dispor dos dados referentes à produção dos produtos impermeabilizantes. No Brasil, não há estudos e dados disponíveis sobre a ACV de impermeabilizantes, mas alguns estudos internacionais têm sido feitos. O presente trabalho objetiva apresentar, por meio de uma revisão bibliográfica, o estado da arte do estudo de ACV para materiais e sistemas de impermeabilização disponíveis na literatura, bem como alguns dados de desempenho ambiental relativos à produção de impermeabilizantes (berço ao portão). Uma análise crítica e recomendações para o avanço do tema na cadeia do segmento da impermeabilização serão feitas.

### **Palavras-chave**

Avaliação do Ciclo de Vida, Desempenho Ambiental, Sistemas de impermeabilização.

## **ABSTRACT**

The selection of a product to be applied in a waterproofing system has been based on technical criteria, among which are the type of structure to be protected, the way in which the water acts, and the types of exposure. However, an analysis that is absent in the national scenario, but is of utmost importance, is the environmental performance of waterproofing systems. Since waterproofing systems should protect buildings from the actions of water and, therefore, have an impact on their durability, the evaluation of their environmental performance should consider the life cycle of the buildings. The most indicated method to evaluate the environmental performance of construction is the Life Cycle Assessment (LCA). A LCA study consists of the compilation and evaluation of the inputs, outputs and potential environmental impacts of a product or system throughout its life cycle. Through this methodology it is possible to formulate strategies to minimize environmental impacts and to compare products and systems with equivalent functions, becoming a design tool. However, in order to do LCA studies of waterproofing systems, first we need to have data about the production of waterproofing products. In Brazil, there are no studies and data available on the life cycle assessment of waterproofing products, but some international studies have been done. The present work aims to present, through a literature review, the state of the art of LCA studies for waterproofing materials and systems which are available the literature, as well as cradle-to-gate environmental performance indicators of the manufacturing of waterproofing products. A critical analysis and recommendations for advancing the topic in the waterproofing segment chain will be made.

## **KEYWORDS**

Life Cycle Assessment, Environmental Performance, Waterproofing Systems.

## 1. INTRODUÇÃO

A construção de edificações é essencial para a qualidade de vida, mas causa grandes impactos sobre o meio ambiente. Os materiais de construção representam aproximadamente 50% de todos os recursos extraídos da natureza (SCHANDL et al., 2018) e seu beneficiamento emite aproximadamente 9% das emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (UNEP, 2022), que é o principal gás de efeito estufa, causador do aquecimento global e, consequentemente, das mudanças climáticas, incluindo o aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos.

Para manter as mudanças climáticas na esfera do previsível, os modelos climáticos recomendam limitar o aquecimento global em 2,0°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2022), sendo este o compromisso que consta do Acordo de Paris, do qual o Brasil é signatário (BRASIL, 2022). Para isso, é necessário que as emissões líquidas de CO<sub>2</sub> sejam iguais a zero (*net-zero*) até o final deste século (IPCC, 2022). Este é um enorme desafio, para os quais todos os setores devem contribuir, inclusive a indústria da construção. Além disso, há outros impactos ambientais que devem ser reduzidos, como, por exemplo, o consumo de água, a geração de resíduos sólidos, entre outros.

Para que seja possível tomar decisões acertadas no sentido de reduzir os impactos ambientais da construção, são necessárias informações objetivas acerca do desempenho ambiental dos materiais e das edificações. O método mais indicado para avaliar o desempenho ambiental da construção é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que consiste em quantificar os fluxos de materiais e energia que ocorrem nos processos no ciclo de vida de um determinado produto e, então, converter tais fluxos em indicadores de potencial de impacto ambiental (ABNT, 2009a). No Brasil, as normas que tratam da ACV são a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), e a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho consiste em apresentar o estado da arte referente à ACV de materiais e sistemas de impermeabilização, incluindo o mapeamento dos dados disponíveis sobre o desempenho ambiental da produção de impermeabilizantes, nacional e internacionalmente. Desta forma, pretende-se contribuir com a compreensão do atual estágio acerca deste assunto no Brasil e com recomendações para o avanço do tema no segmento de impermeabilização brasileiro.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Avaliação do ciclo de vida

A ACV consiste na “*compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida*” (ABNT, 2009a). As entradas e saídas são os fluxos de material ou energia que entram e saem dos diferentes processos que ocorrem no ciclo de vida do produto, os quais configuram o “sistema de produto”. Os referidos fluxos podem ser fluxos elementares, que são substâncias que entram diretamente da natureza (ex.: óleo cru) ou são emitidas diretamente para a natureza (ex.: CO<sub>2</sub>), ou fluxos de produto, que se originam de ou

se destinam a outros sistemas de produto (ex.: eletricidade, gerada a partir de usinas). A quantificação dos fluxos no ciclo de vida do produto é denominada Inventário do Ciclo de Vida (ICV). Os fluxos são expressos em relação à unidade funcional do produto, que é o “desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como unidade de referência” (ABNT, 2009a). Os fluxos de inventário são então convertidos em indicadores de potencial de impacto ambiental, na etapa conhecida como Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

Tomando como exemplo um sistema de impermeabilização em manta asfáltica, o ciclo de vida se inicia na extração do óleo cru, passando pelo craqueamento do petróleo (que dá origem ao asfalto), o beneficiamento deste asfalto e de outras matérias-primas para compor a manta asfáltica, o transporte da manta asfáltica até a obra, sua aplicação (que pode consumir combustível caso seja feita a quente), eventuais reparos ao longo do ciclo de vida da edificação e, por fim, sua retirada e disposição final após o término de sua vida útil. Todos esses processos consomem materiais, energia (elétrica ou na forma de combustíveis), eventualmente água e podem emitir substâncias para o ar, água e solo, além da geração de resíduos sólidos. O inventário do ciclo de vida da manta asfáltica quantifica todos esses fluxos para uma unidade funcional, que neste exemplo poderia ser a impermeabilização de 1m<sup>2</sup> de superfície com uma vida útil de 10 anos. A Figura 1 mostra uma representação esquemática deste processo.

Figura 1- Representação esquemática do ciclo de vida, do berço ao túmulo, de sistema de impermeabilização composto por manta asfáltica



Fonte: As autoras (2023)

A partir do inventário, pode-se calcular diferentes indicadores de potencial de impacto ambiental. O mais conhecido é o Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential* – GWP), que expressa o aquecimento causado pela emissão dos diferentes gases de efeito estufa em um horizonte de 100 anos, relativamente ao potencial de aquecimento do CO<sub>2</sub> – por isso, a unidade é kg CO<sub>2</sub> equivalente. 1 kg de CO<sub>2</sub> equivalente a 1 kg CO<sub>2</sub> equivalente, enquanto 1 kg de metano (CH<sub>4</sub>) equivale a 28 kg CO<sub>2</sub> equivalente (MYHRE et al., 2013). Os fatores de conversão dos fluxos elementares em indicadores de potencial de impacto ambiental são dados pelos modelos de caracterização; no caso do GWP, o modelo é desenvolvido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, ou IPCC. Cabe ressaltar que o GWP é apenas uma das categorias de impacto ambiental passíveis de avaliação na ACV.

Voltando ao exemplo da manta asfáltica, quantificando-se todas as emissões de gases de efeito estufa ao longo do seu ciclo de vida – a emissão no processo de refinamento do petróleo, dos combustíveis utilizados no transporte e no processamento, entre outros – é possível calcular o potencial de aquecimento global correspondente à unidade funcional (1 m<sup>2</sup> com VUP = 10 anos). Alternativamente, poderia se encerrar a análise em um estágio intermediário do ciclo de vida, por exemplo, na porta da fábrica da manta asfáltica, o que é chamado do “berço ao portão”, ou “*cradle to gate*”. Quando a ACV compreende o ciclo de vida completo do produto, diz-se que ela é “do berço ao túmulo”, ou “*cradle to grave*”.

## 2.2 Declaração Ambiental de Produto

A lógica da ACV faz dela um método intensivo em dados, uma vez que é necessário quantificar as entradas e saídas de cada processo. Os dados de ACV se dividem em duas grandes categorias: 1) dados genéricos, que se referem a inventários de ciclo de vida com validade regional ou nacional; 2) dados específicos, que se referem a informações específicas de fabricantes. Os dados genéricos normalmente são armazenados em bases de dados de ACV. As duas principais bases de dados de ACV são o ecoinvent (de origem Suíça) e GaBi (de origem alemã) mas, atualmente, há uma profusão de bases de dados internacionais, que podem ser encontradas na plataforma GLAD – *Global LCA Data Access Network*<sup>1</sup>. No Brasil, há o Sistema de Inventário de Ciclo de Vida de produtos (SICV), o qual, entretanto, se encontra em um estágio incipiente de desenvolvimento.

Os dados específicos de ACV, por sua vez, são registrados nas Declarações Ambientais de Produto, ou *Environmental Product Declarations* (EPDs). As EPDs são declarações obrigatoriamente baseadas em ACV e que passam pela revisão de uma terceira parte independente antes de sua publicação, processo este mediado por uma organização que atua como operador do programa de EPD (ABNT, 2015). Cada produto segue orientações específicas, registradas em Regras de Categoria de Produto, ou *Product Category Rules* (PCRs). As normas ISO 21930 (ISO, 2017) e EN

<sup>1</sup> <https://www.globalldataaccess.org/>



15804 (DIN, 2020) são PCRs que se aplicam a produtos de construção de uma forma geral e padronizam, por exemplo, qual o escopo mínimo da avaliação, quais as categorias de impacto que devem ser avaliadas, entre outros aspectos.

## **2.3 Abordagens simplificadas**

A ACV é um método inerentemente complexo, devido à sua abordagem sistêmica, que exige a avaliação dos processos que compõem o ciclo de vida de um produto no todo ou em parte. Entretanto, essa complexidade da ACV é exacerbada pela quantidade de categorias de impacto exigidas pelas normas de ACV. Cada categoria de impacto requer que se inventarie uma determinada quantidade de fluxos elementares, sendo que algumas delas (por exemplo, as associadas à toxicidade) requerem informações sobre mais de 1.000 substâncias para serem calculadas (FANTKE et al., 2017). Tal complexidade acaba por tornar a ACV inacessível como instrumento de gestão do desempenho ambiental no dia a dia (BALOUKTSI et al., 2020; GRAEDEL, 1998; SCHALTEGGER, 1996).

Para tornar a abordagem do ciclo de vida mais acessível, há abordagens simplificadas, como a proposta por (STEINMANN et al., 2017) e (BELIZARIO-SILVA, 2022). Estes autores propõem o uso de alguns poucos indicadores de inventário, que focam nas principais preocupações ambientais e exibem alta correlação com os diversos indicadores de impacto da ACV. Na simplificação proposta para o setor da construção, (BELIZARIO-SILVA, 2022) propõe o uso de cinco indicadores: demanda de energia primária (MJ), demanda de material (kg), demanda de água (m³), ocupação do solo (m².a) e emissão de CO<sub>2</sub> (kg).

É nesta abordagem simplificada que se baseia o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (Sidac), base de dados (por enquanto genéricos) de desempenho ambiental de produtos de construção com base em dados brasileiros verificados (BELIZARIO-SILVA et al., 2022). O Sidac é uma iniciativa do Ministério de Minas e Energia e foi lançado em abril de 2022, com dados genéricos de 86 produtos de construção, pertencentes a 12 categorias de produto, e 40 insumos básicos (tais como eletricidade, combustíveis e operações de transporte). A primeira versão do Sidac permite o cálculo dos indicadores de demanda de energia primária e emissão de CO<sub>2</sub>.

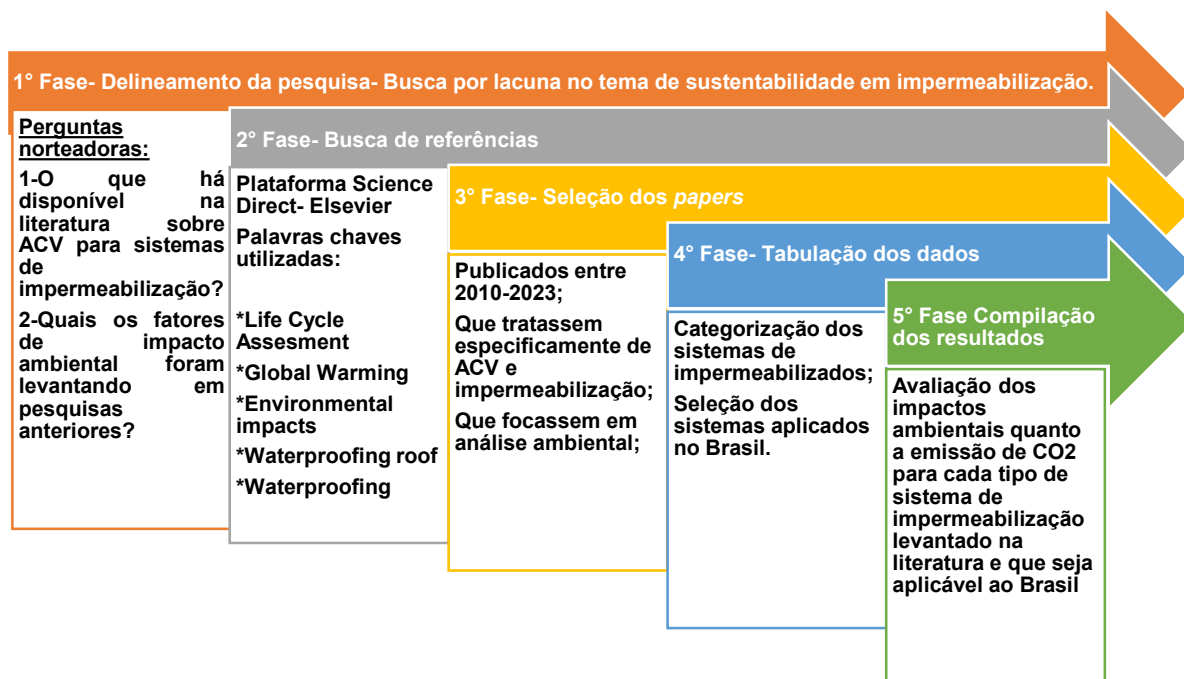
### 3. METODOLOGIA

O procedimento metodológico aplicado no presente trabalho foi a revisão bibliográfica. A Figura 2 apresenta um diagrama com as 5 fases da revisão realizada para este estudo. As seguintes questões nortearam a revisão bibliográfica:

1. O que há disponível na literatura sobre ACV para sistemas de impermeabilização?
2. Quais indicadores de impacto ambiental foram levantados em pesquisas anteriores?

A partir destas perguntas, foi realizada a busca por artigos na plataforma Science Direct, onde foram encontrados 10 resultados (Fase 2). Dentre estes, foram selecionados para o estudo aqueles publicados de 2010 a 2023, e que tratassem especificamente de materiais de impermeabilização e impactos ambientais (fase 3). A categorização dos sistemas estudados pelos 6 trabalhos selecionados foi realizada, de forma a serem avaliados os sistemas aplicáveis ao Brasil (fase 4). E por fim, a compilação dos resultados para análises foi feita na última etapa (fase 5).

Figura 2- Diagrama das 5 fases de revisão sistemática da literatura realizada para este estudo

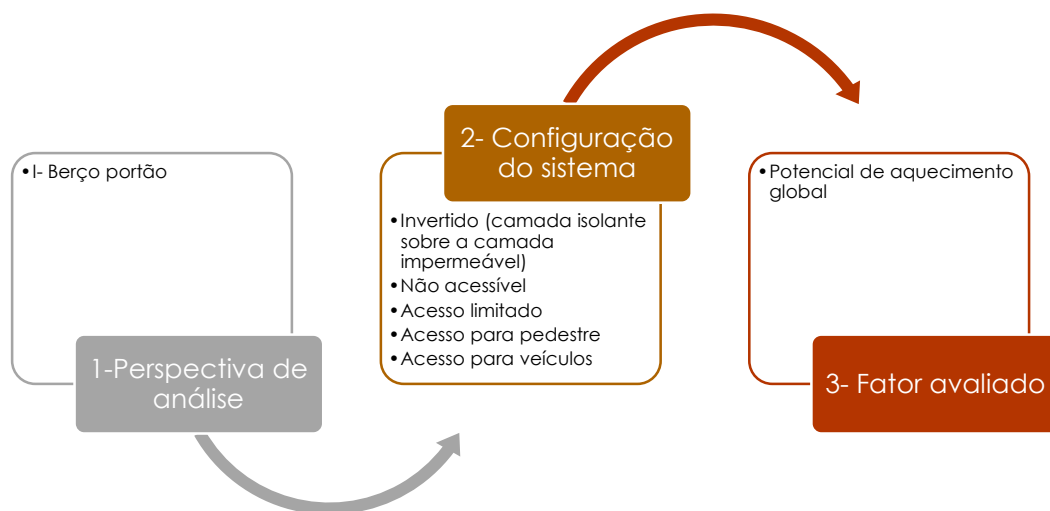


Para uma comparação adequada dos resultados obtidos na literatura, considerou-se apenas a fase do berço ao portão, ou seja, a produção dos produtos utilizados nos sistemas de impermeabilização, devido à escassez de dados relativos especificamente à etapa de construção e às diferenças de aplicação nas fases de

uso e manutenção do edifício. Em seguida, os sistemas foram classificados de acordo com a utilização. Internacionalmente, considera-se “tradicional” o sistema de impermeabilização cuja camada de isolamento térmico está posicionada abaixo da camada impermeável, e “invertido” o sistema cuja camada de isolamento térmico está acima da camada impermeável (KUBAL, 2008, seq. 3.88). Foram então selecionadas as configurações de sistema invertidas, pois geralmente são mais praticadas no Brasil (PIRONDI, 1988).

Para cada tipologia de cobertura, as soluções de impermeabilização foram comparadas em termos de impactos ambientais, considerando apenas o potencial de aquecimento global, pois esta é uma variável constante de análise para todos os estudos levantados. A seleção das tipologias de sistemas para cobertura baseou-se em soluções convencionais, ou habitualmente utilizadas e praticáveis para edificações. Ademais, a laje de cobertura plana de concreto armado foi o substrato selecionado para equalização do estudo. A Figura 3 apresenta o fluxograma dos parâmetros utilizados para comparação entre os estudos levantados.

Figura 3- Fluxograma dos parâmetros utilizados para análise dos resultados



A unidade funcional (FU – *functional unit*) de 1m<sup>2</sup> de área de cobertura foi utilizada para comparar os diferentes sistemas de forma comum.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1.1 Cenário internacional

O quadro 1 apresenta os estudos levantados, disponíveis na literatura. Os pesquisadores trouxeram abordagens de sistemas de impermeabilização praticados na Coreia do Sul, Espanha, Portugal e República Tcheca. Para isto, utilizaram de dados obtidos em EPD's específicas dos produtos e/ou dados genéricos, sendo a principal base utilizada a Ecoinvent. Inicialmente, observou-se ao longo da pesquisa que os autores classificam os sistemas em dois grupos, quais sejam os tradicionais e os invertidos. Este fator é muito relevante quando avaliado o impacto ambiental, consumo de energia e custo, por exemplo.

O Quadro 2 apresenta o mapeamento dos sistemas de impermeabilização, classificados por artigo, tipo de sistema e nível de acesso. Para este último quesito, foram levantados sistemas não acessíveis, com acesso limitado, acessível para pedestre e acessível para veículo. Estas diferentes configurações são de grande relevância na avaliação do impacto ambiental, uma vez que há relação direta com a quantidade e tipo de materiais utilizados na disposição das camadas para proteção mecânica da impermeabilização. No quadro 3 são apresentados os fatores ambientais avaliados pelos pesquisadores, sendo o potencial de emissão de aquecimento global o considerado fator comum a todos.

Quadro 1- Caracterização dos trabalhos disponíveis na literatura e selecionados para este estudo.

<b>Ref.</b>	<b>Ji Sukwon et al (2014)</b>	<b>Ayuso e Calcedo (2018)</b>	<b>Gonçalves et. al (2019)</b>	<b>Gomes et al (2020)</b>	<b>Antunez e Dominguez (2022)</b>	<b>Felicioni et al (2023)</b>
<b>Dados</b>	Coreia do Sul	Espanha	Portugal	Portugal	Espanha	República Tcheca
<b>Método de avaliação de impacto</b>	CML2001	Não informado	NativeLCA/ CML2001	NativeLCA	ReCiPe 2016	CML2001
<b>Banco de dados</b>	Ecoinvent	BEDEC (Catalunha Construction Technology Institute)	Ecoinvent, Envirodenc, Plastics Europe 2005, IBU, BRE, Norwegian EPD Foundation, INIES	EPDs de fabricantes portugueses disponíveis ou bases de dados genéricas do contexto europeu	Ecoinvent 3.5	EPDs de bancos genéricos-EPD International, Ökobaudat, EPD Online Tool, EPD Ireland
<b>Software</b>	SimaPro v.70	CENTRO/CYPE Engineers	Não informado	SimaPro v.8.2.3	Simapro v. 9.0	MS excel
<b>Fronteira de análise</b>	Construção, manutenção e descarte	Construção-manutenção	Produção dos materiais (berço ao portão)	Berço ao túmulo	Berço ao túmulo	Berço ao portão

Quadro 2- Levantamento de sistemas de impermeabilização abordados por artigo, classificados por tipo e por acessibilidade

Tipo de sistema	Tipo de acessibilidade	Ji Sukwon et al (2014)		Ayuso e Calcedo (2018)		Gonçalves et. al (2019)		Gomes et.al (2020)			Antunez e Dominguez (2022)		Felicioni et al (2023)
		NA	AP	NA	AP	AL	AP	NA/AL	AP	AV	NA	AP	NA
Manta asfáltica com SBS				x	x	x	x	x			x	x	x
Manta asfáltica com APP						x	x	x			x	x	
Manta de PVC (Policloreto de Vinila)		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Manta de PEBD (Polietileno de Baixa Densidade)													x
Manta de PEAD (Polietileno de Alta Densidade)													x
Manta de EPDM (Etileno-Propileno-Dieno)						x	x	x					x
Manta de TPO (Poliolefina termoplástica)						x	x	x	x	x			x
Membrana de asfalto elastomérico			x					x	x	x			x
Membrana de asfalto oxidado			x										x
Membrana de polímero-cimentício													x
Membrana de asfalto SBS+ Polietileno													x
Membrana elastomérica			x										
Membrana de resina acrílica									x				
Membrana de borracha butílica								x					

NA- Não acessível, AL- Acesso limitado, AP- Acessível para pedestre, AV- Acessível para veículos; APP-Polipropileno Atático, SBS-Estireno-Butadieno-Estireno

Quadro 3- Levantamento dos indicadores de recursos e impactos ambientais calculados pelos pesquisadores para sistemas de impermeabilização

Tipo de indicador	Categorias de impacto	Sigla	Unidade	Ji Sukwon et al (2014)	Ayuso e Calcedo (2018)	Gonçalves et. al (2019)	Gomes et al (2020)	Antunez e Dominguez (2022)	Felicioni et al (2023)
<b>Inventário (uso de recursos)</b>	Energia primária renovável	PERT	(MJ)					x	x
	Energia primária não renovável	PERNT	(MJ)				x		x
	Consumo de água doce	FW	(m³)					x	x
<b>Impacto</b>	Potencial de acidificação	PA	(kg-SO <sub>2</sub> eq.)			x	x	x	x
	Potencial de destruição do ozônio	ODP	(kg-CFC-11 eq)					x	x
	Potencial de aquecimento global	GWP	(kg-CO <sub>2</sub> eq)	x	x	x	x	x	x
	Potencial de eutrofização	EP	(kg-(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq)				x	x	x
	Potencial de criação de ozônio fotoquímico	POCP	(kg-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)				x	x	x
	Potencial de depleção abiótica de elementos	ADPe	(kg-Sb eq)					x	x
	Potencial de depleção abiótica de fósseis	ADPf	(MJ eq)				x	x	x

Os quadros 4 e 5 apresentam os dados levantados dos impactos do potencial de aquecimento global para produtos de impermeabilização, na fase berço portão. Os dados foram classificados por tipologia de produtos, qual seja em acessível ou com acesso limitado, e acessível para pedestre. Nesta fase do estudo (berço-portão) esta divisão não é tão relevante em termos de impacto ambiental, uma vez que as demais camadas necessárias para composição do sistema, por exemplo a proteção mecânica para tráfego, não foi considerada. Entretanto, caso o objetivo fosse comparar os sistemas, seria necessário considerar as demais camadas, uma vez que as alternativas comparadas devem ser equivalentes do ponto de vista funcional.

O quadro 4 apresenta a emissão de CO<sub>2</sub> para as mantas e membranas, consideradas acessíveis para pedestres pelos estudos avaliados. Nota-se que os dados são bastante limitados, com poucos materiais a serem avaliados. A comparação entre os produtos também se torna menos confiável dada a ausência de suas informações específicas, tais como espessura e composição do material. Contudo, apesar disto é possível observar que a membrana de asfalto oxidado e a manta de EPDM são os materiais de maiores contribuições na emissão de CO<sub>2</sub>

Quadro 4- Análise da emissão de CO<sub>2</sub>, para fase berço-portão, para produtos de impermeabilização acessíveis para pedestres.

		Espessura (mm)	GWP (kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> )		
			Felicioni et. Al (2023)	Gonçalves et.al (2019)	Sukwon Ji et. al (2014)
Acessível para pedestre	Manta	TPO		5,96 <sup>a</sup>	
		Asfáltica com SBS	N/informado	8,94 <sup>c</sup>	
		Asfáltica com APP	N/informado	8,94 <sup>c</sup>	
		PVC	1	13,5 <sup>a</sup>	
		EPDM	2	20,84 <sup>b</sup>	
	Membrana	Polímero sintético <sup>d</sup>	N/informado		7,39
		Asfáltica + chapa metálica revestida com membrana polimérica	N/informado		8,77
		Asfalto oxidado	N/informado		27
		Elastomérica	N/informado		10,5

<sup>a</sup>Cálculo médio com e sem embalagem

<sup>b</sup>Cálculo médio com embalagem

<sup>c</sup>Cálculo médio sem embalagem

<sup>d</sup>Não foi especificado qual o tipo de polímero é fabricado=

Quadro 5- Análise da emissão de CO<sub>2</sub>, para fase berço-portão, para produtos de impermeabilização não acessível ou com acesso limitado.

	Sistema	Espessura (mm)	GWP (Kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> )		
			Felicioni et. Al (2023)	Gonçalves et.al (2019)	Sukwon Ji et. al (2014)
Não acessível/ Acesso limitado	Asfáltica com SBS	3	6		
		4	8		
		5	9,8		
	Asfáltica com APP	N/informado		8,94 <sup>c</sup>	
	Asfáltica (oxidado)	3	6,4		
		4	8,5		
	Asfáltica + chapa metálica revestida com membrana polimérica	N/informado			8,77
	Asfáltica + membrana cimentícia	N/informado			11,1
	PVC	1	5,7		
		2	7,3		
		2,1		13,16 <sup>c</sup>	
	PEBD	0,2	0,3		
		0,5	0,8		
		0,6	1		
		1	1,8		
		2	3		
	PEAD	0,2	0,3		
		0,5	0,8		
		0,6	0,9		
		1	1,7		
		2	3,9		
	EPDM	1	4		
		1,2		15,36 <sup>c</sup>	
		2	8		
	TPO	1,2		4,75 <sup>a</sup>	
		2	5,8		
	Polímero sintético <sup>d</sup>	N/informado			7,29
Membrana	Asfalto elastomérico	2	5,2		
		3	10		
		4	14		
		N/informado			5,04
	Asfalto SBS+ Polietileno	1	1,3		
		2	2,4		
	Polímero-cimentício	1	2		
		2	4		
		3	5,7		

<sup>a</sup>Cálculo médio com e sem embalagem

<sup>b</sup>Cálculo médio com embalagem

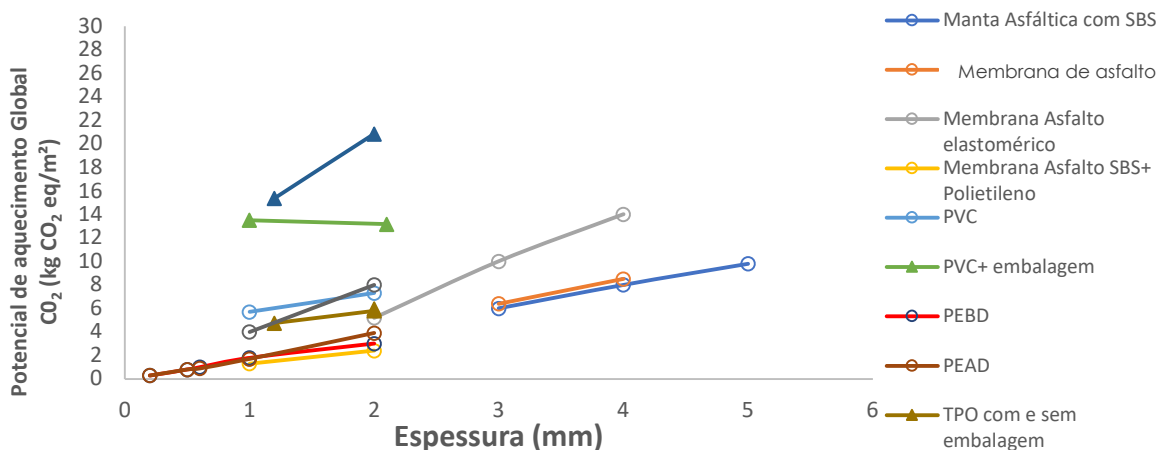
<sup>c</sup>Cálculo médio sem embalagem

<sup>d</sup>Não foi especificado qual o tipo de polímero é fabricado

Gonçalves et al. (2019) consideraram para as mantas de EPDM, TPO e PVC, o processo de embalagem, enquanto para os produtos asfálticos esse parâmetro não foi considerado. Isto está relacionado com a disponibilidade dos dados que os pesquisadores obtiveram nas EPD's utilizadas para análises. É possível que a embalagem tenha um peso significativo nos indicadores de impacto ambiental destes produtos: nota-se, por exemplo, nos quadros 4 e 5, que para o EPDM com embalagem (conforme Gonçalves et al.) os valores de GWP são mais de duas vezes maiores do que os valores sem embalagem (conforme Felicioni et al.); entretanto, maiores análises seriam necessárias para descartar outras fontes de variação como, por exemplo, o uso de bases de dados diferentes.

A Figura 4 apresenta os indicadores de potencial de aquecimento global dos diferentes materiais, para diferentes espessuras. Inicialmente percebe-se que o resultado na fase berço-portão é diferente para todos os tipos de membranas, e tão maior quanto mais espesso o material. É importante observar que a Figura 6 traz apenas uma síntese e não deve ser usada como base para comparação do desempenho ambiental entre sistemas de impermeabilização, uma vez que seria necessário levar em consideração a equivalência funcional entre os diferentes sistemas, incluindo questões relativas ao desempenho e à durabilidade, bem como as demais camadas que compõem tais sistemas.

Figura 4- Síntese do potencial de aquecimento global por tipologia de produto impermeabilizante, considerando o potencial de impacto do berço ao portão, sem as demais camadas.



Fonte: Dados com marcadores vazados adaptados de Felicioni et.al (2023), e dados com marcadores cheios adaptados de Gonçalves (2019).

Observa-se na Figura 6 que a membrana asfáltica com polietileno (MAP), as mantas de polietileno de alta (PEAD) e de baixa densidade (PEBD) apresentaram os menores valores de potencial de aquecimento global. Quando comparados na mesma espessura (2mm), a MAP apresenta o menor valor (2,4 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>), seguida da PEAD (3 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>) e a PEBD (3,9 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>). As mantas de TPO, PVC, e EPDM apresentaram valores intermediários de potencial de aquecimento global, com



emissões de 5,8, 7,3 e 8 (kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>2</sup>) para espessura de 2 mm. Para o PVC e para o EPDM, as emissões são maiores quando considerada a embalagem.

De uma forma geral, considerando as referências consultadas, o potencial de aquecimento global para a fabricação dos produtos de impermeabilização varia entre 0,3 e 20,8 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>. Trata-se um valor que pode ser significativo na escala do edifício: supondo uma laje de 12 cm de espessura, feita com concreto com  $f_{ck}$  30 MPa e taxa de aço de 70 kg/m<sup>3</sup>, teria-se uma pegada de carbono da laje de concreto armado entre 33 e 47 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (Sidac, 2023). Acrescentando o impermeabilizante, a pegada aumentaria para 33,3 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (melhor caso) ou 67,8 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (pior caso). Trata-se de uma análise preliminar, mas que mostra a importância de se terem indicadores de desempenho ambiental nacionais destes produtos.

### **Análise Crítica**

Os dados levantados na literatura contribuíram para compreender quais variáveis são relevantes para análise, e o quanto o impacto ambiental da fabricação de um produto ou sistema de impermeabilização pode sofrer variação. Alguns pontos críticos foram observados, os quais serão de forma geral descritos a seguir:

- 1) O valor médio de dados foi calculado baseado em diferentes EPD's, e bancos de dados genéricos diversos. Alguns valores podem ser confirmados quando diferentes autores apontam resultados similares, como pode ser visto no quadro 5, para a manta asfáltica com SBS e com APP;
- 2) Alguns dados da fase berço-portão contemplam a embalagem, e outros não. Isto dificulta a comparação entre os produtos, bem como o uso de diferentes bases de dados;
- 3) A caracterização dos componentes do produto ou sistema, assim como de suas respectivas espessuras são primordiais para a avaliação do desempenho ambiental.

É importante reforçar que os resultados de impacto ambiental para serem passíveis de comparação, precisam ser calculados com o mesmo método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e precisam ser referenciados ao desempenho do sistema de impermeabilização, inclusive no que diz respeito à sua durabilidade, de modo a efetivamente caracterizar a equivalência funcional exigida pela NBR ISO 14040 para estudos comparativos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). Ou seja, os indicadores de desempenho ambiental do berço ao portão apresentados neste estudo não servem à comparação entre sistemas de impermeabilização.

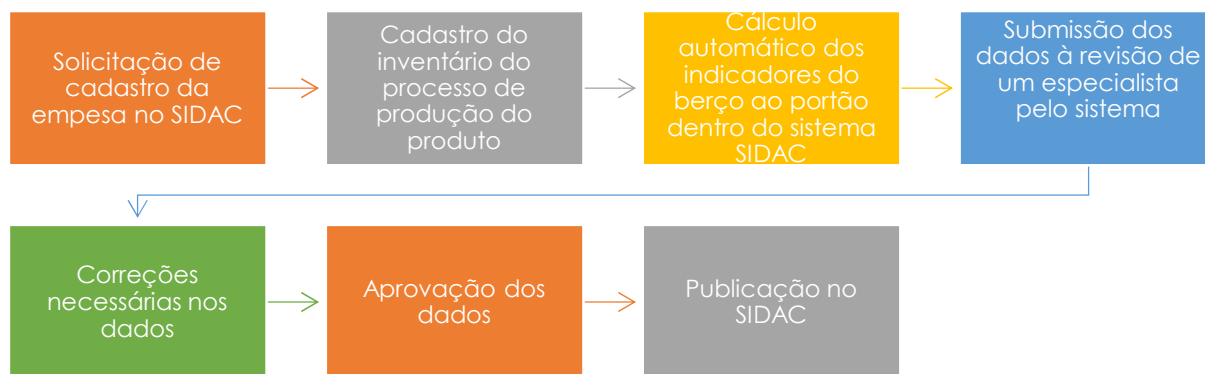
Uma limitação importante deste estudo é a consulta apenas a artigos científicos. Há também dados sobre desempenho ambiental de produtos impermeabilizantes disponíveis em bases de dados genéricas de ACV internacionais e em bancos de

Declarações Ambientais de Produto. Recomenda-se que futuros trabalhos se debrucem também sobre essas fontes de informação, de modo a oferecer um panorama mais amplo sobre a disponibilidade de dados de produtos impermeabilizantes.

#### 4.1.2 Cenário nacional (SIDAC)

No cenário nacional, ainda não há disponível estudos da avaliação de ciclo de vida para produtos e sistemas de impermeabilização. A base de dados do SIDAC está estruturada e apta para receber informações, sejam elas genéricas ou específicas de fabricantes, as quais seriam de grande contribuição para o segmento da cadeia de impermeabilização. Isto permitirá expandir a quantidade e tipos de produtos cadastrados. Para a inserção<sup>2</sup> de dados no sistema, os processos necessários são indicados no fluxograma da Figura 5.

Figura 5- Procedimento para inserção de dados específicos do produto no sistema SIDAC



Fonte: [sidac.org.br](http://sidac.org.br)

Para o levantamento dos indicadores atualmente existentes no SIDAC, foram feitos relatórios de coletas de dados, disponibilizados no site, os quais mostram o passo a passo dos processos de extração da matéria prima até a fabricação do produto. Com isto, é importante ressaltar que, para que seja feito um levantamento para um dado produto, é primordial que a cadeia produtiva do segmento esteja bem consolidada. Ademais, o desenho e fluxos da cadeia contribuem para o mapeamento das entradas e saídas em cada etapa do processo de avaliação do ciclo de vida. Para o segmento da impermeabilização, como já observado por Braun et al. (2020), o desenho da cadeia produtiva do setor, com seus agentes, rastreabilidade dos produtos normatizados e fabricados nacionalmente são fatores elementares para que seja fomentada a análise de impactos ambientais dos produtos e sistemas. A disponibilidade de dados nacionais sobre as matérias-primas

<sup>2</sup> Para cadastro da empresa no sistema SIDAC é necessário a manifestação de interesse pelo contato: [sidac@cbcs.org.br](mailto:sidac@cbcs.org.br)

dos produtos impermeabilizantes é um fator crítico, pois sem os dados iniciais de inventário, não é possível calcular os indicadores de desempenho ambiental do berço ao portão. Cita-se como exemplo o cálculo do indicador de emissão do CO<sub>2</sub> da manta asfáltica. Considerando o ciclo de vida do produto, o cálculo se iniciaria pelos dados dos processos de extração do petróleo e refinamento do asfalto, porém a Petrobrás não divulga a pegada de carbono dos seus produtos. Do mesmo modo ocorre para os materiais poliméricos, tais como as mantas de PVC, pois a indústria química brasileira também não divulga a pegada de carbono de seus produtos. Por outro lado, há dados disponíveis para a indústria do cimento, então os impermeabilizantes de base cimentícia já teriam algum ponto de partida para o cálculo do potencial de emissão de CO<sub>2</sub>. Assim sendo, há a necessidade de um apoio e movimento do setor fabril do segmento de impermeabilização, de forma que fomenta a exigência por indicadores nos processos antecessores aos seus, assim como contabilizem as emissões dentro dos processos que ocorrem dentro dos portões de sua fábrica.

## 5. Conclusão

O presente trabalho objetivou apresentar o estado da arte de pesquisas no tema de avaliação do ciclo de vida (ACV) para produtos e sistemas de impermeabilização, disponíveis na literatura. Inicialmente aspectos gerais e conceituais da ACV foram abordados. Em seguida, a metodologia por revisão bibliográfica foi indicada, sendo selecionados 6 artigos principais no tema para serem estudados, dentre os quais 3 foram explanados para análise de dados. O indicador de impacto ambiental selecionado para comparação entre os produtos e sistemas foi o potencial de aquecimento global, dado pela emissão de CO<sub>2</sub> equivalente por metro quadrado, do berço ao portão.

Pode-se concluir que avaliação de desempenho ambiental, com base na abordagem do ciclo de vida, permite comparar sistemas de impermeabilização quanto ao seu desempenho ambiental, desde que sejam consideradas alternativas com desempenho equivalente. Este tipo de avaliação também permite identificar processos prioritários para melhoria do desempenho ambiental do setor. É importante que o desempenho ambiental seja incorporado em critérios de seleção de sistemas de impermeabilização (GOMES; SILVESTRE; DE BRITO, 2020; GONÇALVES et al., 2019). Para isso, é necessário avançar na coleta de dados primários de desempenho ambiental de produtos impermeabilizantes, o que hoje é facilitado, por exemplo, com o uso do sistema SIDAC.

Sendo assim, é necessário que a cadeia de valor do setor de impermeabilização se mobilize para levantar dados de desempenho ambiental junto aos fabricantes dos produtos. Em um cenário de crescente pressão para mitigação das mudanças climáticas e com a perspectiva de cobrança por emissões de carbono, trata-se de uma atividade fundamental, que pode trazer retornos positivos para as empresas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14025 - Rótulos e declarações ambientais - Declarações ambientais de tipo III - Princípios e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípio e estrutura**. ABNT, 2009. a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações**. ABNT, 2009. b.
- BALOUKTSI, M.; LÜTZKENDORF, T.; RÖCK, M.; PASSER, A.; REISINGER, T.; FRISCHKNECHT, R. Survey results on acceptance and use of Life Cycle Assessment among designers in world regions: IEA EBC Annex 72. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S. l.], v. 588, n. 3, p. 032023, 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/588/3/032023.
- BELIZARIO-SILVA, Fernanda. **Proposal of life cycle-based environmental performance indicators for decision-making in construction**. 2022. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.
- BELIZARIO-SILVA, Fernanda et al. **Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção - Metodologia**. São Paulo: SIDAC, 2022.
- BRASIL. **Paris Agreement - Nationally Determined Contribution (NDC)**. Brasília, 2022.
- BRAUN, Julie Anne; MONTE, Renata; CARDOSO, Francisco Ferreira. Análise da cadeia produtiva do segmento de impermeabilização. Em: (Instituto Brasileiro de Impermeabilização, Org.) 2020, São Paulo. São Paulo: Anais do 16º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, 2020.
- DIN. **DIN EN 15804: Sustainability of construction works - Environmental performance declarations - Core rules for the product category of construction products**. Berlin: DIN, 2020.
- FANTKE, Peter et al. **USEtox® 2.0 Documentation (version 1)**. Lyngby: USEtox International Center, 2017. DOI: 10.11581/DTU:00000011.
- GRAEDEL, T. E. **Streamlined life-cycle assessment**. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- IPCC. Summary for Policymakers. Em: **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. New York: Cambridge University Press, 2022.
- ISO. **ISO 21930: Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services**. Geneva: ISO, 2017.
- KUBAL, Michael T. **Construction Waterproofing Handbook**. 2. ed. United States. DOI: TRF2693 [pii]\r10.1111/j.1537-2995.2010.02693.x.
- MYHRE, Gunnar et al. **Anthropogenic and natural radiative forcingClimate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l.: s.n.]. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.018.
- PIRONDI, Zeno. **Manual prático da impermeabilização e de isolamento térmica**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1988.
- SCHALTEGGER, Stefan (ORG.). **Life cycle assessment (LCA) — quo vadis?** Basel: Birkhäuser Verlag, 1996. DOI: 10.1007/bf02978715.

SCHANDL, Heinz et al. Global Material Flows and Resource Productivity: Forty Years of Evidence. **Journal of Industrial Ecology**, [S. l.], v. 22, n. 4, p. 827–838, 2018. DOI: 10.1111/jiec.12626.

STEINMANN, Zoran J. N.; SCHIPPER, Aafke M.; HAUCK, Mara; GILJUM, Stefan; WERNET, Gregor; HUIJBREGTS, Mark A. J. Resource Footprints are Good Proxies of Environmental Damage. **Environmental Science & Technology**, [S. l.], v. 51, n. 11, p. 6360–6366, 2017. DOI: 10.1021/acs.est.7b00698.

UNEP. **2022 Global Status Report for Buildings and Construction**. Nairobi: UNEP, 2022.



Instituto de  
Impermeabilização

<http://ibibrasil.org.br/>