

**PEGADA DE CARBONO EM CADEIAS DE ABASTECIMENTO ALIMENTAR:
UMA REVISÃO DA LITERATURA DOS MÉTODOS DE CONTABILIZAÇÃO DE
GASES CAUSADORES DO EFEITO ESTUFA**

**CARBON FOOTPRINT IN FOOD SUPPLY CHAINS: A REVIEW OF THE
LITERATURE OF ACCOUNTING METHODS FOR GREENHOUSE GAS
EMISSIONS**

**HUELLA DE CARBONO EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO DE ALIMENTOS:
UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE MÉTODOS DE CONTABILIDAD
DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

Joelson Oliveira Santos¹
Marcelo Antonio Conterato²
Marcio Gazolla³

RESUMO

O trabalho objetiva analisar na literatura nacional e internacional os principais métodos de contabilização de gases causadores do efeito estufa (GEE) aplicados aos sistemas alimentares em distintas cadeias de abastecimento, bem como, a partir da revisão, apontar os principais dilemas enfrentados ao aplicar-se os métodos à realidade brasileira. A metodologia consistiu na busca em três bases de periódicos nacionais e internacionais: *Web of Science*; Portal de Periódicos da CAPES; e Google Acadêmico, compreendendo trabalhos publicados até agosto de 2023, utilizando-se palavras-chave. A partir da análise bibliométrica, observa-se predominância dos métodos de contabilização de GEEs baseados na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ao passo que significativas dificuldades são encontradas na literatura ao aplicar-se o método à realidade brasileira. Este achado, evidencia que pesquisas sobre as emissões de carbono em cadeias de abastecimento alimentar apresentam potencialidades de serem exploradas no Brasil, dadas nossas condições de circulação de alimentos em diferentes tipos de cadeias e condições ambientais de desenvolvimento sustentável e de transportes.

Palavras-chave: sistemas alimentares; métodos; mercados alimentares; avaliação do ciclo de vida (ACV); pegada de carbono.

¹Mestre em Economia (UFRN). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre. Rio Grande do Sul. Brasil. E-mail: joelsonsantosrdp@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9689-9505>.

²Doutor em Desenvolvimento Rural (UFRGS). Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural (PGDR). Porto Alegre. Rio Grande do Sul. Brasil. E-mail: marcelo.conterato@ufrgs.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8593-6590>.

³Doutor em Desenvolvimento Rural (UFRGS). Professor Titular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR). Pato Branco. Paraná. Brasil. E-mail: marciogazolla@utfpr.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4807-6683>.

ABSTRACT

The work aims to analyze in national and international literature the main methods of accounting for greenhouse gases (GHG) applied to food systems in different supply chains, as well as, based on the review, to point out the main dilemmas faced when apply the methods to the Brazilian reality. The methodology consisted of searching three national and international journal databases: Web of Science; CAPES Journal Portal; and Google Scholar, including works published up to august 2023, using keywords. From the bibliometric analysis, a predominance of GHG accounting methods based on Life Cycle Assessment (LCA) is observed, while significant difficulties are found in the literature when applying the method to the Brazilian reality. This finding highlights that research on carbon emissions in food supply chains has potential to be explored in Brazil, given our conditions of food circulation in different types of chains and environmental conditions of sustainable development and transport.

Keywords: food systems; methods; food markets; life cycle assessment (LCA); carbon footprint.

RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo analizar en la literatura nacional e internacional los principales métodos de contabilidad de gases de efecto invernadero (GEI) aplicados a los sistemas alimentarios en diferentes cadenas de suministro, así como, con base en la revisión, señalar los principales dilemas enfrentados al aplicar los métodos a la realidad brasileña. La metodología consistió en la búsqueda en tres bases de datos de revistas nacionales e internacionales: Web of Science; CAPES Journal Portal; y Google Scholar, incluyendo obras publicadas hasta agosto de 2023, utilizando palabras clave. A partir del análisis bibliométrico, se observa un predominio de los métodos de contabilidad de GEI basados en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), mientras que se encuentran dificultades significativas en la literatura al aplicar el método a la realidad brasileña. Este hallazgo destaca que la investigación sobre las emisiones de carbono en las cadenas de suministro de alimentos tiene potencial para ser explorada en Brasil, dadas nuestras condiciones de circulación de alimentos en diferentes tipos de cadenas y las condiciones ambientales de desarrollo sostenible y transporte.

Palavras chave: sistemas alimentarios; métodos; mercados alimentarios; análisis de Ciclo de Vida (ACV); huella de carbono.

Como citar este artigo: SANTOS, Joelson Oliveira; CONTERATO, Marcelo Antonio; GAZOLLA, Marcio. Pegada de carbono em cadeias de abastecimento alimentar: uma revisão da literatura dos métodos de contabilização de gases causadores do efeito estufa. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**, v. 16, p. 528-548, 18 set. 2026. Doi: <https://doi.org/10.24302/drd.v16.6078>.

Artigo recebido em: 08/09/2025; **Artigo aprovado em:** 14/08/2026; **Artigo publicado em:** 18/09/2026

1 INTRODUÇÃO

Em 2019, a emissão global de gases de efeito estufa (GEEs) foi de 54 GtCO_{2e} (GWP-AR5), da qual cerca de 31% foram provenientes dos sistemas alimentares. Entre 1990 e 2019,

as emissões desses sistemas aumentaram cerca de 16% (FAO, 2021; IPCC, 2019). Uma vez que os sistemas alimentares são transversais a diversos setores, estudos denotam a tendência de aumento das emissões do setor devido à expectativa de demanda futura por alimentos (Costa *et al.*, 2022; FAO, 2021; Tubiello *et al.*, 2022). No tocante à realidade brasileira, em 2021, as emissões pelos sistemas alimentares corresponderam a 1,8 GtCO_{2e}, correspondendo a 73,7% das emissões brutas totais do país para o mesmo ano, quando foram emitidas 2,4 GtCO_{2e} (SEEG, 2023).

Das emissões dos sistemas alimentares nacionais, estimativas do Observatório do Clima, mostram que 56,3% (1 GtCO_{2e}) atrelam-se à mudança de uso da terra e 33,7% (600 MtCO_{2e}) foram contabilizados como efeito da produção agropecuária. Em seguida, tem-se o setor de Energia, respondendo por 5,6% das emissões alocadas nos sistemas alimentares, com a emissão total de 100,1 MtCO_{2e}, sendo que o transporte e a distribuição dos alimentos representam 47% de todas as emissões do setor. Neste sentido, são importantes pesquisas e estudos que mensurem o CO₂ emitidos pelas cadeias de abastecimento alimentar.

A relevância das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) associadas aos sistemas alimentares, especialmente no contexto brasileiro, evidencia a necessidade de aprimorar sua mensuração e compreensão. Conforme apresentado anteriormente, os sistemas alimentares respondem por parcela expressiva das emissões nacionais, as quais não se restringem à produção agropecuária, mas abrangem diferentes etapas ao longo das cadeias de abastecimento, incluindo mudanças no uso da terra, produção agrícola e pecuária, processamento, transporte, distribuição e consumo. Essa característica torna a contabilização das emissões um desafio metodológico, uma vez que diferentes etapas e atividades econômicas podem apresentar distintas fontes, intensidades e formas de geração de GEEs.

Nesse contexto, a literatura apresenta uma diversidade de métodos e abordagens para a contabilização das emissões associadas aos sistemas alimentares. Entre essas abordagens, encontram-se métodos baseados em análises de ciclo de vida, inventários de emissões, fatores de emissão, análise de insumo-produto e modelos híbridos, entre outros. Embora essa diversidade metodológica permita analisar diferentes dimensões dos sistemas alimentares, também pode resultar em diferenças significativas quanto às fronteiras do sistema, unidades funcionais, categorias de gases consideradas, fontes de dados, fatores de emissão, níveis de agregação setorial e etapas da cadeia alimentar contempladas.

A ausência de uma sistematização dessas abordagens constitui, portanto, uma lacuna relevante para a compreensão do estado atual do conhecimento sobre a contabilização de GEEs nos sistemas alimentares. Uma revisão bibliográfica dos métodos empregados na literatura pode contribuir para identificar as principais metodologias utilizadas, suas características e pressupostos. Essa análise é particularmente relevante para o caso brasileiro, considerando a dimensão e a complexidade do sistema alimentar nacional e a elevada participação de atividades agropecuárias e de mudança do uso da terra nas emissões de GEEs, de modo que a revisão pode fornecer subsídios tanto para o avanço da literatura quanto para o desenvolvimento de estudos empíricos voltados à mensuração das emissões e à identificação de oportunidades de mitigação.

Nesse sentido, o presente estudo, de modo sintético, objetiva apresentar os principais métodos de contabilização de GEEs existentes na literatura nacional e internacional aplicados aos sistemas alimentares em distintas cadeias de abastecimento, bem como, a partir da revisão realizada, apontar os principais dilemas que os métodos enfrentam ao aplicar-se à realidade

brasileira. A metodologia consistiu na busca em três bases de periódicos nacionais e internacionais: *Web of Science*, Portal de Periódicos da CAPES e Google Acadêmico, compreendendo trabalhos publicados até agosto de 2023⁴. A busca foi realizada utilizando-se dos seguintes termos: metodologia e gases de efeito estufa; estimativas e gases de efeito estufa; alimentos e gases de efeito estufa; sistemas alimentares e gases de efeito estufa; cadeias alimentares e gases de efeito estufa; *food miles* e gases de efeito estufa; *food miles* e cadeias curtas de abastecimento. A partir das informações obtidas, pode-se contribuir para uma compreensão mais abrangente das formas de mensuração das emissões nos sistemas alimentares e para o desenvolvimento de estudos que produzam estimativas mais consistentes, transparentes e comparáveis, capazes de subsidiar estratégias de mitigação e políticas públicas direcionadas à transição para sistemas alimentares de menor intensidade de carbono.

De maneira geral, este trabalho possui quatro partes, além desta introdução e das considerações finais. A primeira e segunda seções, respectivamente, apresentam a metodologia de busca na literatura e a descrição dos principais métodos de contabilização de GEEs encontrados. Na terceira seção, a partir da revisão realizada, apresenta-se uma sistematização dos métodos de contabilização. Por outro lado, a quarta seção aponta as principais limitações dos métodos quando aplicados à realidade brasileira.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Em termos de material e métodos, utilizou-se na pesquisa uma abordagem de caráter indutivo e qualitativa baseada na revisão sistemática de literatura (RSL). Dado o objetivo do presente estudo, empregou-se a técnica exploratória para descrever a interface entre o uso dos métodos de contabilização de GEEs e as cadeias alimentares. Através da RSL é possível identificar, avaliar e interpretar o volume de pesquisa disponível para determinada temática. Nesse sentido, o uso da RSL permite apresentar e sistematizar resultados sobre determinado tema por meio da análise de informações publicadas sobre ele (Denyer; Tranfield, 2009).

Dado o volume da literatura, aproximadamente 6 mil trabalhos a partir da pesquisa com as palavras-chaves, em termos de sistematização da busca dos trabalhos, após definição das palavras-chaves e das bases de dados, inicialmente, utilizou-se a lei de Zipf, terceira lei clássica da bibliometria. Essa lei procura descrever a relação entre palavras em um trabalho e a contagem das palavras no mesmo, de modo que se parte do princípio de que, ao listar as palavras usadas em um trabalho de maneira decrescente de frequência, a posição de determinada palavra multiplicada pela sua frequência é igual a uma constante (Araújo, 2006). Sua equação é dada por:

$$rxf = k \quad (1)$$

Em que r é a posição da palavra, f é a sua frequência e k é a constante. Por meio da equação 1, formula-se o princípio do menor esforço, em que há economia do uso de palavras na busca, de modo que a tendência de que as palavras mais usadas incidam o assunto do trabalho. Embora a Lei de Zipf não sirva para avaliar a qualidade metodológica, ela é útil na triagem inicial (*screening*) de grandes volumes de texto, no caso do presente trabalho mais de

⁴ Data em que a pesquisa estava sendo realizada.

6 mil artigos, para otimizar a estratégia de busca. A pesquisa bibliográfica foi realizada em cinco etapas divididas em duas fases (Quadro 1).

Quadro 1 – Etapas da revisão sistemática de literatura

Fase	Etapas	Descrição
1	Etapas 1	Definição das palavras-chaves
	Etapas 2	Definição das bases de dados
	Etapas 3	Análise de conteúdo/título
2	Etapas 4	Recorte de estudos internacionais e nacionais
	Etapas 5	Sistematização dos principais métodos

Fonte: Os autores (2025).

A primeira etapa consistiu na definição das palavras-chaves utilizadas para pesquisar os descritores: metodologia e gases de efeito estufa; estimativas e gases de efeito estufa; alimentos e gases de efeito estufa; sistemas alimentares e gases de efeito estufa; cadeias alimentares e gases de efeito estufa; *food miles* e gases de efeito estufa; *food miles* e cadeias curtas de abastecimento, considerando o idioma português e inglês. Na segunda etapa, definiu-se a busca em três bases de periódicos nacionais e internacionais: *Web of Science*; Portal de Periódicos da CAPES; e Google Acadêmico, compreendendo trabalhos publicados até agosto de 2023.

Na etapa 3, em conjunto com a aplicação da Lei de Zipf, foram feitas leituras de títulos e resumo dos artigos, de modo a identificar a relação dos estudos com a questão do uso de métodos de contabilização de GEE em cadeias alimentares, bem como a relevância metodológica e qualidade dos trabalhos analisados. Na etapa 4 foi feito o recorte para trabalhos levando em consideração as metodologias e as possíveis aplicações encontradas para o Brasil. Após esse filtro, a sistematização dos principais métodos encontrados (etapa 5). A fase 1 consistiu em uma abordagem geral, considerando estudos em distintos locais. A fase 2 concentrou-se nos trabalhos que abordam o Brasil.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Por meio da análise bibliométrica foram identificados dez métodos de contabilização de GEEs proeminentes na literatura⁵. Quadro 2 apresenta os métodos, seus respectivos nomes populares e as datas de publicação da primeira e da atual versão de cada um.

Quadro 2 – Métodos de contabilização de emissões de gases causadores do efeito estufa

Título do método	Nome popular	Primeira versão	Versão atual
2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories	Guidelines do IPCC	1994	2019
The GHG Indicator: UNEP Guidelines for Calculating Greenhouse Gas Emissions for Businesses and Non-Commercial Organizations	GHG Indicator	1997	2000
ABNT NBR ISO 14040:2009/ ABNT NBR ISO 14044:2009	ISO 14040/14044	2001	2009
The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard	GHG Protocol	2001	2004

⁵ Salienta-se que a lista não é exaustiva, podendo haver outros métodos não contemplados na análise e que não foram mapeados pelos buscadores e descritores na pesquisa realizada e na revisão da literatura.

Título do método	Nome popular	Primeira versão	Versão atual
Bilan Carbone	Bilan Carbone	2004	2022
ABNT NBR ISO 14064-1:2007/ ABNT NBR ISO 14067:2023	ISO 14064/14067	2006	2023
PAS 2050:2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services	PAS 2050	2008	2011
Guidance on how to measure and report your greenhouse gas emissions	Guidance do DEFRA	2009	2019
Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol	GHG Protocol Brasil	2008	2023
The Greenhouse Gas Protocol: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard	GHG Protocol para Produtos	2011	2011

Fonte: Os autores (2025).

Em geral, a partir da revisão realizada, observa-se que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem-se destacado como um instrumental para mensurar o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade, uma vez que na cadeia de valor de um produto, energia é utilizada, resíduos são gerados e outros recursos naturais são utilizados (Pieragostini; Mussati; Aguirre, 2012; UNEP, 2011; Wonglimpiyarat, 2005). A ACV refere-se ao processo de compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais associados as atividades de uma organização ou produto ao longo do seu ciclo de vida. O Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT, 2014) conceitua a ACV como um método para a avaliação de produtos ou serviços que considera os aspectos ambientais em todas as fases da sua vida, estabelecendo vínculos entre esses aspectos e categorias de impacto potencial, tais como o consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia.

A ACV é o método normalmente recomendado por instituições internacionais, como a Comissão Europeia e o Programa das Nações Unidas para o meio ambiente, para elaboração de políticas para a sustentabilidade, avaliando quantitativamente os impactos ambientais durante todo o ciclo de vida de um produto (Cucurachi *et al.*, 2019). Assim, a ACV desponta na literatura como uma importante metodologia para analisar as interações entre as atividades humanas e o meio ambiente (Chauhan *et al.*, 2011). Ademais, por seu caráter analítico e gerencial, essa técnica contribui para a avaliação do potencial impacto ambiental de produtos, processos e serviços (Garraín, 2010; Löfgren; Tillman; Rinde, 2011).

Heijungs e Guinee (2012) apontam que o método percorreu um longo caminho e continua a mudar, de modo que há um conjunto de princípios amplamente aceitos que estruturam esse método de análise. A despeito disso, não existe apenas uma metodologia para o estudo da ACV, mas diretrizes que fornecem uma estrutura comum ao método. Ademais, pela revisão realizada, o número de trabalhos encontrados no nível do produto é menor quando comparado com perspectivas mais gerais, de modo que o tipo de produto, sistema produtivo, cadeia distributiva, adaptações dos métodos à realidade local são nuances que precisam ser considerados no desenho do trabalho, o que abre significativo espaço para pesquisas e estudos que mensurem o CO₂ emitidos em distintas cadeias de abastecimento alimentar. A próxima seção apresenta, de modo sintético, os principais métodos de contabilização de GEEs existentes na literatura.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

4.1 MÉTODOS DE CONTABILIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES CAUSADORES DO EFEITO ESTUFA (GEEs)

4.1.1 Guidelines do IPCC

O método 2006 IPCC *Guidelines*, cuja publicação é dividida em cinco volumes, apresenta atualizações frente sua versão anterior de 1996. Suas novas diretrizes incluem novas fontes de informações e gases, bem como atualizações técnicas e científicas. Por se tratar de um guia de estimacão global, o método provê diretrizes para a mensuração de inventários nacionais de emissões e remoções antropogênicas de GEE e, portanto, auxilia os países na compilação de seus respectivos inventários nacionais.

O método permite a contabilização em três níveis de detalhamento: *tier 1* (método básico), *tier 2* (intermediário) e *tier 3* (método com maior detalhamento). O *tier 1* é o método mais simples, sua utilização se dá quando não há disponibilidade de fator de emissão específico para o país ou setor, bem como quando há limitação dos dados por atividade. O *tier 2*, por sua vez, possui um nível intermediário de complexidade, nele estão disponíveis dados de emissões específicos do país ou região, diminuindo incertezas nas estimativas. Por fim, o *tier 3* é o mais complexo, contando com dados específicos para plantas industriais, atividades e processos, de modo que exige maior detalhamento das medidas do inventário, bem como procedimentos metodológicos especificamente desenvolvidos para a contabilização. Uma vez implementados de forma correta, os *tiers* devem fornecer estimativas imparciais e sua precisão aumenta do *tier 1* para o 3. Em termos setoriais, as especificações do método para o cálculo de emissões e remoções de GEE contemplam quatro principais setores: Energia; Processos Industriais e Uso de Produtos; Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra; e Resíduos.

O 2006 IPCC *Guidelines* é adequado para uso global na compilação de um inventário nacional de GEEs. Seu uso também é possível em situações mais estritas, embora com cuidado para assegurar que as emissões e remoções sejam corretamente incluídas dentro das fronteiras do sistema adotado. Ademais, os inventários nacionais contêm estimativas para o ano no qual ocorrem as emissões ou remoções de GEEs para a atmosfera, sendo que a contabilização ocorre de janeiro a dezembro do ano inventariado. Nesse sentido, o método deve ser utilizado para estimativas globais das emissões dos sistemas alimentares de determinada localidade.

4.1.2 GHG Indicator

Com o objetivo de auxiliar organizações no processo de contabilização e relato de emissões de GEE em suas atividades, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) lançou em 1997, no Reino Unido, o GHG *Indicator*, o primeiro método a propor a contabilização das emissões de GEE de uma corporação. A principal característica do GHG *Indicator* é a de que ele utiliza informações disponíveis às empresas e fornece um método em que as emissões são calculadas e combinadas para um indicador único que representa a contribuição às mudanças climáticas da organização.

Segundo UNEP (2000), há duas fontes significativas de emissões de GEEs em uma corporação: emissões relacionadas ao uso energia; e emissões atreladas a processos. Ao utilizar-

se o *GHG Indicator*, essas fontes são avaliadas e calculadas individualmente, para em seguida serem agregadas. Ainda segundo à Instituição, o método pode ser resumido em cinco aspectos:

- i) Responde diretamente ao Protocolo de Quioto, proposto em 1997;
- ii) Possibilita países e corporações com pouca experiência na área a engajarem-se no processo de contabilização de GEE, incentivando uma plataforma comum para contabilização;
- iii) Encoraja uma empresa a atuar de forma ambientalmente correta;
- iv) Antecipa medidas que foram adotadas por governos em resposta ao Protocolo de Quioto; e
- v) Estimula uma ação antecipada.

Dinato (2013) salienta que o *GHG Indicator* foi considerado uma inovação quando lançado e abriu as portas para uma série de outras publicações do gênero, contudo, sua última versão foi lançada em 2000 e seu uso foi descontinuado pelas empresas. Nesse caso, o método foi substituído pelo *GHG Protocol*, uma vez que *World Resources Institute* (WRI, 2004) e o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), que mais tarde lançariam o *GHG Protocol*, também tiveram participação no *GHG Indicator*.

4.1.3 ISO 14040/14044

De modo a assegurar a comparabilidade das ACVs, a Organização Internacional de Normalização (ISO) elaborou duas normas complementares: os princípios e a estrutura das ACVs estão presentes na ISO 14040; ao passo que os requisitos em si estão estabelecidos na ISO 14044. Suas correspondentes brasileiras são, respectivamente, a norma técnica ABNT NBR ISO 14040/2009, idêntica em conteúdo técnico, estrutura e redação a ISO 14040, e a ABNT NBR ISO 14044/2009.

Em sua redação, a ABNT NBR ISO 14040/2009 aponta que a ACV pode subsidiar:

- i) A identificação de oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seus ciclos de vida;
- ii) O nível de informação dos tomadores de decisão na indústria e nas organizações governamentais ou não-governamentais (visando, por exemplo, ao planejamento estratégico, à definição de prioridades ou ao projeto ou reprojeto de produtos ou processos);
- iii) A seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes, incluindo técnicas de medição; e
- iv) O *marketing* (por exemplo, na implementação de um esquema de rotulagem ambiental, na apresentação de uma reivindicação ambiental ou na elaboração de uma declaração ambiental de produto).

Segundo a normativa, uma ACV em conformidade com suas diretrizes é composta por quatro fases:

- i) Definição de objetivo e escopo: O escopo de uma ACV, incluindo a fronteira do sistema e o seu nível de detalhamento, depende do objeto e do uso pretendido para o estudo. Ademais, a profundidade e a abrangência da ACV podem variar consideravelmente, dependendo do objetivo do estudo em particular;
- ii) Análise de inventário do ciclo de vida (ICV): Trata-se de um inventário dos dados de entrada/saída associados ao sistema em estudo, o que envolve a coleta dos dados necessários para o alcance dos objetivos do estudo em questão;
- iii) Avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV): O objetivo dessa fase é prover informações adicionais para a avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental;
- iv) Interpretação: Nessa fase, os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sumarizados e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo.

Em termos de fronteira de análise, o conjunto ISO 14040/14044 tem por objetivo a mensuração de impactos ambientais em produtos (bens ou serviços). Uma vez que o foco do estudo está no produto, a análise de um ICV e/ou AICV se dá independentemente da quantidade de países ou organizações que os fluxos elementares ou de produtos possam passar. Todavia, as normativas são genéricas e não descrevem detalhadamente a técnica da ACV, tampouco especificam métodos para as suas fases individuais. Dessa forma, não existe um método único para se conduzir uma ACV, de modo que a questão de quais metodologias, métricas ou instrumentos que serão utilizados em sistemas alimentares fica em aberto e a critério de cada organização e/ou pesquisadores envolvidos.

4.1.4 GHG Protocol, GHG Protocol Brasil e GHG Protocol Para Produtos

O *GHG Protocol* foi desenvolvido pelo *Greenhouse Gas Protocol Initiative*, uma coalisão de empresas, Organizações não Governamentais (ONGs), Governos, entre outros, reunidos pelo WRI e pelo WBCSD. Sua primeira versão foi lançada em 2001 e posteriormente uma versão revisada do método foi lançada em 2004. Segundo a WRI Brasil, o *GHG Protocol* objetiva fornecer padrões e orientações para empresas e organizações prepararem seus respectivos inventários de emissões de GEEs. Ao todo a contabilização abrange seis GEEs cobertos pelo Protocolo de Quioto: CO₂; CH₄; NO₂; HFCs, PFCs; e SF₆.

O Protocolo define as fronteiras, ou limites, para as emissões de acordo com dois níveis: limites organizacionais e limites operacionais. No primeiro nível, a análise das emissões pauta-se na estrutura legal e organizacional da empresa; portanto, inclui operações próprias, *joint ventures* incorporadas e não incorporadas, subsidiárias e outras. Nesse caso, WRI (2004) aponta duas abordagens distintas para consolidar as emissões de GEEs no limite organizacional: participação societária e controle. Na abordagem de participação societária, a empresa contabiliza as emissões de suas operações de acordo com a porcentagem de ações que possui em determinada operação. Por outro lado, no controle, 100% das emissões das operações que a

empresa possui controle são contabilizadas (WRI, 2004). Ademais, o controle pode ser definido sob a forma financeira ou operacional.

No tocante aos limites operacionais, o *GHG Protocol* define três escopos de emissão de GEEs:

- i) Emissões de Escopo 1: São as emissões diretas e estão relacionadas a fontes próprias ou controladas pela empresa, por exemplo, emissões provenientes de combustão das caldeiras, fornos, veículos próprios ou controlados, emissões decorrentes de processos químicos dentro da fronteira da organização e emissões fugitivas de equipamentos de refrigeração e ar-condicionado;
- ii) Emissões de Escopo 2: Trata-se das emissões indiretas relacionadas à aquisição de energia elétrica e térmica consumida pela empresa. Neste caso, as emissões ocorrem fisicamente no local onde a energia é produzida, isto é, fora dos limites da empresa;
- iii) Emissões de Escopo 3: Nesta categoria, de relato opcional, considera-se todas as outras emissões indiretas da atividade da empresa, como transporte em veículos não controlados pela empresa, uso de produtos e serviços provenientes de terceiros.

Em 2008, o *GHG Protocol* começou a ser adaptado ao contexto brasileiro⁶ a partir da parceria entre o Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces), da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas (EAESP-FGV) e o WRI, com apoio do Ministério do Meio Ambiente, do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o WBCSD e 27 empresas fundadoras, de modo que em 2010 foi publicado o documento Especificações do Programa Brasileiro *GHG Protocol*, que objetiva estimular a cultura corporativa de inventário de emissões de GEE no Brasil.

Parte significativa do método coincide com as diretrizes apresentadas pelo *GHG Protocol*, de modo que a especificação brasileira apresenta as mesmas definições para limites organizacionais e limites operacionais. Entretanto, a despeito de ambos fornecem duas abordagens para a consolidação das emissões (participação societária e controle), enquanto, no *GHG Protocol* duas formas de controle podem ser definidas (financeira ou operacional), no programa brasileiro o controle se dá exclusivamente sob a forma operacional. Cabe salientar que o *GHG Protocol* Brasil estabelece limites territoriais para os participantes do Programa Brasileiro *GHG Protocol*⁷, uma vez que devem ser incluídas no inventário apenas as fontes de emissões localizadas em território nacional. As emissões em âmbito internacional, por sua vez, podem ser calculadas e adicionadas as emissões nacionais de forma opcional e separada.

No tocante ao *GHG Protocol* para Produtos, suas diretrizes foram lançadas em 2011 pelo WRI, em conjunto com o WBCSD. Em complementação ao *GHG Protocol*, o método fornece requisitos e orientações para que empresas e outras organizações possam quantificar e publicar inventários de emissões e remoções de GEEs associados a um determinado produto de seu *portfólio*. Em termos normativos, as diretrizes do método baseiam-se na norma ISO

⁶ Recorrentemente, o Programa Brasileiro organiza grupos de trabalho, junto às empresas participantes, para o aperfeiçoamento da metodologia e desenvolvimento de novas ferramentas para a contabilização de emissões de GEEs.

⁷ Cabe frisar a diferença entre o Programa Brasileiro *GHG Protocol* e as especificações para o Programa Brasileiro *GHG Protocol*. O primeiro é um programa de incentivo à elaboração de inventários corporativos no país, ao passo que o segundo provê as diretrizes para a participação nesse programa.

14040/14044 e na PAS 2050, posteriormente analisada, bem como seguem a abordagem atribucional, que se baseia nas relações quantitativas entre entradas e saídas do sistema, fornecendo informações sobre os impactos em termos de emissões e remoções de GEEs atribuídos à unidade de análise do produto estudado, de modo a concatenar os diversos processos atribuíveis ao longo do ciclo de vida de produtos pertinentes aos sistemas alimentares. Ademais, o método elenca cinco etapas genéricas no ciclo de vida de um produto:

- i) Aquisição de materiais e pré-processamento;
- ii) Produção;
- iii) Distribuição e armazenamento;
- iv) Uso; e
- v) Fim da vida.

4.1.5 Bilan Carbone

A primeira versão do método francês *Bilan Carbone*, direcionada especificamente para a contabilização de emissões em empresas, foi lançada em 2004 pela Agência Francesa para o Meio Ambiente e Energia (ADEME). Posteriormente, sua versão 5 foi lançada em 2007 e desenvolvida com foco na administração pública e territórios. A versão mais recente do método foi lançada em outubro de 2022 (versão 8.8), a qual incorpora atualizações para os seus três módulos de atuação. O *Bilan Carbone* também fornece diretrizes de como para contabilizar a pegada de carbono de um produto. Portanto, ele pode ser utilizado em uma gama de processos inerentes aos sistemas alimentares.

Sumariamente, esse método permite estimações de GEEs resultantes de todos os processos físicos necessários⁸ para a existência de uma atividade, uma organização e um produto, de modo que coloca no mesmo nível de importância as emissões que ocorrem diretamente dentro do objeto de análise e as emissões que ocorrem fora do objeto, mas que são um deslocamento dos processos necessários para a existência da atividade, organização ou produto. Nesse sentido, o *Bilan Carbone* contabiliza as emissões de todas as atividades das quais o objeto da análise é dependente, por exemplo, emissões via geração de eletricidade para o fabricante de semicondutores, uma vez que as atividades não podem ocorrer sem eletricidade; emissões relacionadas ao transporte dos clientes de um supermercado cuja localização é afastada dos consumidores; emissões provenientes da distribuição de merenda escolar por parte de prefeituras, pois embora a frota de transporte em si não necessariamente pertença à administração pública, ela é indispensável para que os alimentos cheguem nas escolas; entre outros.

Esse método possui uma abordagem compatível com a ISO 14064, analisada posteriormente, e o GHG *Protocol* para a contabilização de emissões de uma organização, ao

⁸ Por processos físicos necessários, tem-se que a unidade de análise do estudo não existiria da maneira como é no presente se todos os processos físicos necessários para sua atuação ou elaboração não fossem possíveis (ADEME, 2010).

passo que, em termos do cálculo da pegada de carbono de um produto ou serviço, ele deve estar alinhado com a ISO 14040/14044, uma vez que a normativa trata do conceito de análise de ciclo de vida de um produto (ADEME, 2010). Ademais, enfatiza-se a necessidade de uma fronteira de análise bem delimitada para a implementação do método, pois considerar todos os processos físicos necessários para a existência de uma atividade pode incorrer na análise de todos os processos físicos existentes no planeta (Dinato, 2013).

4.1.6 ISO 14064/14067

Em relação à normativa internacional ISO 14064 e sua norma correspondente brasileira ABNT NBR ISO 14064/2022, tem-se diretrizes para planejar, desenvolver, gerenciar e relatar inventários de GEEs em organizações e/ou empresas, o que inclui exigências necessárias para definição dos limites de fontes de emissão. A norma é subdividida em três partes distintas:

- i) A ISO 14064-1 concentra-se no planejamento e desenvolvimento de inventários de GEEs corporativos;
- ii) A ISO 14064-2 normatiza projetos de GEEs ou atividades relacionadas, especificamente desenvolvidas para reduzir emissões ou aumentar a remoção de emissores das atividades da empresa. Nesse caso, a norma sinaliza princípios e exigências para determinação dos cenários de referência do projeto, bem como para monitorar, quantificar e relatar o resultado do projeto em relação ao cenário de referência previamente definido;
- iii) A ISO 14064-3 detalha princípios e requisitos para verificação de inventários de GEEs, assim como normativos para validações e verificações desses projetos.

Ao analisar-se a norma é possível observar que suas bases remetem ao *GHG Protocol*, de modo que suas definições de limites organizacionais e limites operacionais são as mesmas e, apesar de não se citar nominalmente os escopos 1, 2 e 3, eles são igualmente descritos na ISO 14064. Ademais, tal como o conjunto ISO 14040/14044, as metodologias, métricas ou instrumentos que serão utilizados no inventário ficam em aberto e a critério de cada organização.

No que concerne à ISO 14067, bem como sua correspondente brasileira ABNT NBR ISO 14067/2023, ela norteia princípios, requisitos e diretrizes para a quantificação e relato da pegada de carbono de um produto, de forma consistente com os padrões internacionais sobre ACV presentes no conjunto ISO 14040/14044 e para comunicação segue as recomendações das normas de rotulagem e declarações ISO 14020, 14024 e 14025 em vigor. São também especificados requisitos e orientações para a quantificação de uma ACV de produto parcial e a norma aborda apenas uma única categoria de impacto: as alterações climáticas. Em termos de fronteira de análise, a norma propõe quatro opções:

- i) Berço ao túmulo: Inclui as emissões e remoções decorrentes do ciclo de vida completo do produto;

- ii) Berço ao portão: Trata-se da contabilização das emissões e remoções até o ponto em que o produto deixa a organização, isto é, antes de ser transportada para o consumidor;
- iii) Porta-a-porta: Tem-se a quantificação dos GEEs decorrentes apenas do sistema produtivo (processos da fábrica);
- iv) Pegada de carbono de produtos parcial: Inclui as emissões e remoções de um número restrito de processos ou etapas.

4.1.7 PAS 2050

O método *Publicly Available Specification* (PAS) 2050 foi lançado em 2008 pela *British Standards Institution* (BSI). Trata-se de uma especificação aberta, conforme seu nome, cuja versão atual é de 2011. O cálculo das emissões dentro desse arranjo pode cruzar fronteiras entre empresas e países, uma vez que o método associa as emissões a bens e serviços, de modo que, por meio da cadeia de suprimentos, as emissões refletem o impacto de processos, materiais e decisões tomadas por todo o ciclo de vida de bens e serviços.

Nesse sentido, o PAS 2050 foi desenvolvido em resposta à demanda por um método para avaliação das emissões de GEEs ao longo do ciclo de vida de bens e produtos. Contudo, seu principal objetivo é o de fornecer uma base comum para quantificação de emissões que permita a elaboração de programas de redução de emissões (BSI, 2011). O método trabalha com uma categoria de impacto ambiental, emissões de GEEs e sua consequente contribuição para as mudanças climáticas, ao passo que tem por base o conjunto de normas ISO 14040/14044, acrescentando algumas diretrizes e requisitos específicas para a categoria de impacto mudanças climáticas, tais como:

- i) Avaliação de dados de emissões de GEE para estudos do berço ao portão e do berço ao túmulo;
- ii) Escopo dos GEEs que devem ser incluídos na análise;
- iii) Critérios para os dados do Potencial de Aquecimento Global (PAG) de cada gás;
- iv) Tratamento de emissões e remoções pela mudança no uso do solo, bem como fontes de emissão fósseis e biogênicas;
- v) Tratamento do impacto do armazenamento de carbono em produtos e compensação de emissões;
- vi) Requisitos para tratamento de emissões de GEE provenientes de processos específicos;
- vii) Requisitos de dados e contabilização de emissões proveniente da geração de energia renovável.

Ademais, ressalta-se que apesar da série PAS ter sido elaborada pela BSI, atualmente esse conjunto de normas é reconhecido e utilizado internacionalmente, sendo um padrão reconhecido na União Europeia. Assim, o método pode ser aplicado aos bens e serviços que permeiam os sistemas alimentares.

4.1.8 Guidance do DEFRA

Desenvolvido pelo *Department for Environment, Food and Rural Affairs* (DEFRA), em parceria com o *Department of Energy and Climate Change* (DECC), ambos órgãos governamentais do Reino Unido, O Guidance do DEFRA objetiva apoiar as organizações do Reino Unido na redução de suas contribuições às mudanças climáticas. Em termos de unidade de análise, o método pode ser utilizado por empresas, pelo setor público e por organizações do terceiro setor, abrangendo, portanto, diversas atividades, o que inclui as pertinentes aos sistemas alimentares.

Em 2008, o governo do Reino Unido traçou um panorama de como irá gerenciar e reagir à problemática das mudanças climáticas. Nesse caso, ao constatar que as organizações precisam de um guia adequado para contabilizar, gerenciar e reduzir as emissões, o *Guidance* do DEFRA foi elaborado com esse propósito. No tocante a esse aspecto, as organizações que utilizam o método não são obrigadas a divulgar os resultados, de modo que o guia serve apenas para ajudar as organizações a tomarem medidas para gerenciamento e redução de suas emissões. Nesse sentido, as empresas não precisam atentar-se para a dupla contagem de suas próprias emissões com as relatadas por outras organizações.

Em termos normativos, o método delinea princípios genéricos para mensurar e relatar as emissões de GEE. Ademais, baseia-se no *GHG Protocol*, portanto, encontra-se em linha com outros métodos amplamente utilizados para mensuração e relato voluntário de emissões, como a ISO 14064.

4.2 SISTEMATIZAÇÃO DOS MÉTODOS DE CONTABILIZAÇÃO DE GEEs

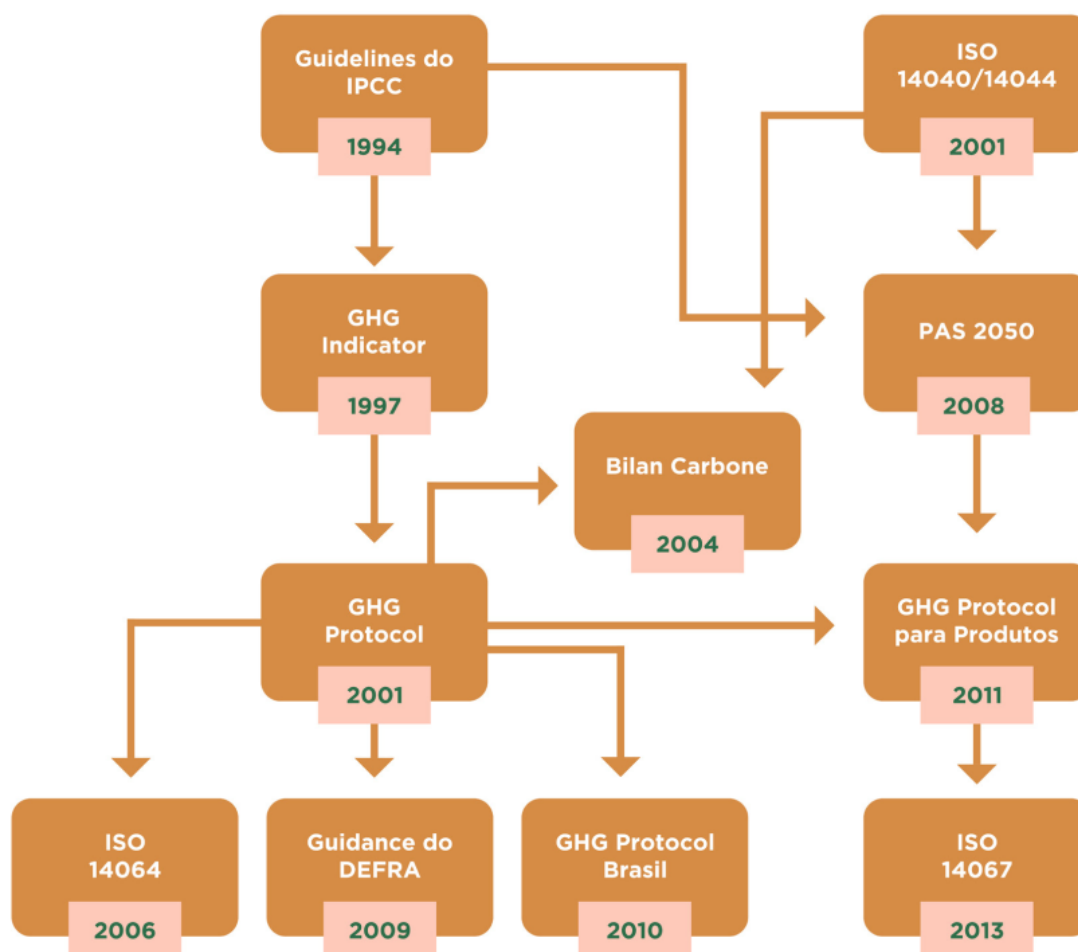
Uma vez apresentados os métodos⁹ de contabilização de GEEs, é possível traçar uma linha de evolução entre eles, bem como sistematizá-los em torno de seus respectivos escopos de análise. A Figura 1 evidencia a relação entre os métodos e dela depreende-se que o *Guidelines* do IPCC marca a criação da linha de métodos que contabilizam emissões de GEEs, ao passo que o conjunto de normas ISO 14040/14044 marca a criação da linha baseada em ciclo de vida.

Abaixo do *Guidelines* do IPCC, método para a contabilização de emissões de um país, estão *GHG Indicator*, *GHG Protocol*, ISO 14064, *Guidance* do DEFRA e *GHG Protocol* Brasil, pois são métodos para a contabilização de emissões de uma empresa ou organização, de modo que a principal diferença entre o primeiro (*Guidelines* do IPCC) e os demais é a fronteira utilizada na análise, uma região ou uma corporação. Por outro lado, na linha baseada em ciclo

⁹ Sobre alguns detalhes entre algumas normas apresentadas, vide Pandey, Agrawal e Pandey (2011), Garcia e Freire (2014) e Wu *et al.* (2014).

de vida, os métodos abaixo do conjunto ISO 14040/14044 (PAS 2050, *GHG Protocol* para Produtos e ISO 14067) diferem do primeiro ao focarem em apenas uma categoria de impacto ambiental e mudanças climáticas. Todavia, ambos seguem a perspectiva do ciclo de vida, contabilizando as emissões de GEEs dos produtos, preferencialmente, do berço ao túmulo. Por fim, o método *Bilan Carbone* fica no meio das duas linhas evolutivas, pois traz princípios baseados no *GHG Protocol* e no conjunto ISO 14040/14044.

Figura 1 – Relação entre os métodos analisados no estudo



Fonte: Os autores (2025) adaptado de Dinato (2013).

Seguindo o proposto em Dinato (2013), ao analisar a delimitação de fronteiras de cada método, é possível dividi-los em três grupos: contabilização regional; contabilização corporativa; e contabilização de produto. O Quadro 3 resume a sistematização proposta:

Quadro 3 – Sistematização dos métodos de contabilização de GEEs

Grupo	Método
Métodos de Contabilização Regional	Guidelines do IPCC
	Bilan Carbone
Métodos de Contabilização Corporativa	GHG Indicator
	GHG Protocol
	GHG Protocol Brasil
	ISO 14064
	Guidance do DEFRA
	Bilan Carbone
Métodos de Contabilização de Produto	ISO 14040/14044
	PAS 2050
	GHG Protocol para Produtos
	ISO 14067
	Bilan Carbone

Fonte: Os autores (2025) adaptado de Dinato (2013).

Os métodos de contabilização regional são indicados para mensurar as emissões de um país, de um estado, de um município ou de qualquer outro tipo de região determinada, bem como setores específicos de uma localidade. Sua abordagem é do tipo *top-down*, em que os dados são obtidos a partir de valores totais da região ou setor. Os métodos de contabilização corporativa focam, por sua vez, nas emissões ocorridas dentro das fronteiras de uma empresa. Nesse caso, as emissões da cadeia de valor da empresa também podem ser levadas em consideração, porém possuem uma menor importância, dado que o relato de tais emissões é considerado opcional na maioria desses métodos. Por fim, a contabilização de emissões de GEEs de produtos utiliza como aporte principal o conceito de ciclo de vida, no qual as emissões do produto são contabilizadas do berço ao túmulo, desde a extração das matérias-primas até a disposição final do produto. Esse conjunto de métodos de contabilização permite a estimação das emissões inerentes aos sistemas alimentares em uma gama de perspectivas, que vão desde as estimativas de GEEs dos sistemas alimentares de um país ao impacto das emissões de um produto ou alimento específico permitindo estimar também os GEEs empresariais e de corporações que atuam dentro de sistemas alimentares e/ou em algumas cadeias de produção-consumo.

4.3 PRINCIPAIS LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS QUANDO APLICADOS À REALIDADE BRASILEIRA

Dada a predominância dos métodos de contabilização de GEEs baseados na ACV, se faz necessário verificar os apontamentos da literatura em torno da aplicação do método à realidade brasileira. A ACV vem sendo praticada desde a década de 1950 em países desenvolvidos, de modo que o conceito de ciclo de vida já estava desenvolvido quando a política ambiental se tornou uma questão de grande importância nas agendas política e social (Huppes; Curran, 2012). No Brasil, contudo, quando comparado aos países desenvolvidos, a aplicação dessa metodologia é relativamente recente. Neste caso, estudos que aplicam esse método de análise relatam uma série de dificuldades e limitações.

Ao analisar 183 teses e dissertações defendidas no Brasil que utilizaram aspectos da ACV em seus respectivos estudos, Zocche (2014) elenca as principais dificuldades apontadas

nessa amostra ao aplicar-se à ACV à realidade nacional. O Quadro 4 apresenta as principais limitações encontradas pela autora.

Quadro 4 – Principais limitações encontradas em teses e dissertações para aplicação da ACV no Brasil

Limitações	Número de trabalhos que a mencionaram
1. Indisponibilidade de banco de dados nacionais	47
2. Incerteza do método em relação aos resultados para a tomada de decisão	41
3. Dificuldade na coleta de dados primários	36
4. Complexidade na fase de ICV devido ao grande volume de dados	23
5. Falta de interesse por parte da iniciativa privada (dados sigilosos), dificuldade de aplicação	22
6. Dificil comparação entre os resultados quantitativos de estudos que possuem o mesmo objeto de estudo	17
7. Estabelecimento de critérios mais objetivos para a definição das fronteiras e unidades funcionais do sistema e do produto a ser estudado	16
8. Simplificação do estudo pela falta de dados	15
9. Escolha das categorias de impacto ambiental a serem avaliadas	14
10. Os softwares desenvolvidos por outros países precisam de adaptações para serem utilizados no Brasil (dificuldade para alinhar)	14
11. Dependendo da região, a utilização de bancos de dados internacionais tende a distorcer os resultados dos estudos de ACV ou não levam em consideração alguns aspectos importantes	14
12. Falta de uma metodologia consolidada (unificada). Dificuldade de normalização.	14
13. Limitações referentes ao uso do método escolhido de AICV	11
14. Definição da cobertura temporal, espacial e tecnológica a ser considerada no estudo	10
15. Técnica recente	8
16. A metodologia utilizada em diversos estudos não é clara	7
17. Alto custo, demanda de muito tempo e recursos	7
18. Dados secundários não puderam ser precisos junto à empresa	6
19. Estabelecimento de diretrizes para a comunicação dos resultados	5
20. Carência de definições metodológicas para a modelagem de sistemas de produto durante a execução de uma ACV	5
21. Escolha do software que melhor se adapta as necessidades específicas de cada usuário	5
22. Não aborda os aspectos sociais e econômicos	5
23. São muito poucos os profissionais capacitados a trabalhar com este tema	5
24. Dificuldade em estabelecer procedimentos de alocação	4
25. A ACV não identificou os impactos locais relacionados à atividade ou processo	2
26. Limitações na avaliação de impactos, especialmente na ponderação, através de uma escala de importância, que busca um indicador único de desempenho ambiental para o produto ou serviço	2
27. Falta de estímulo e apoio do governo	2
28. As empresas de pequeno porte não possuem informações específicas sobre o sistema produtivo	2
29. Pesquisadores criticam a quantidade de subjetividade na definição dos critérios de corte, e muitos acham difícil justificar qualquer um deles	2
30. Falta de adequação da metodologia no país para elaboração de ICV	2

Fonte: Zocche (2014).

A indisponibilidade de bancos de dados com os requisitos e características do país foi reportada como a maior limitação dos estudos de ACV em âmbito nacional. Neste caso, boa parte dos estudos faz uso de bases internacionais, o que tende a distorcer os resultados ao não se levar em consideração aspectos da realidade brasileira, implicando em incertezas nos

resultados. O estabelecimento de maior objetividade para a definição das fronteiras e unidades funcionais do sistema e do produto a ser estudado, bem como outros apontamentos correlatos, como a definição da cobertura temporal, espacial e tecnológica a ser considerada no estudo e as características de impacto ambiental a serem avaliadas, também implicam em limitações apontadas nos estudos. Ademais, outro ponto com alto relato nos trabalhos relaciona-se à dificuldade de coleta de dados primários, que, por sua vez, demandam grande esforço e tempo.

No tocante ao último aspecto, uma vez que a obtenção de dados primários se dá principalmente através do contato com empresas, uma série de dificuldades são relatadas na literatura nacional acerca disso, dentre as quais destacam-se: políticas de confiabilidade que impedem o acesso a coleta de dados; receio em relação ao levantamento dos impactos ambientais de produtos, processos e serviços; dados em posse de fornecedores de matéria-prima, o que dificulta o acesso; relação custo/benefício ainda atuando como um fator limitante que faz com que muitas empresas não se interessem pela aplicação da ACV; divulgação de informações de processos mesmo sem a identificação da empresa impede a parceria; empresas nacionais investem pouco em pesquisas e estão mais preocupadas com o lucro imediato; não há estímulos legais e econômicos para investir-se em projetos junto à universidade; pouca familiaridade com os conceitos da ACV e suas potencialidades; desconhecimento da importância econômica e ambiental de uma ACV do produto; falta de confiança entre a empresa e a instituição parceira (academia); estudos não contemplam todo o processo produtivo devido à restrição de dados públicos e privados; e necessidade de uma grande quantidade de dados para a realização de uma ACV.

Recentemente, o IBICT disponibilizou, através do Banco Brasileiro de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil), inventários de produtos da economia brasileira. O banco de dados conta com 218 inventários, em que são apresentados dados de entrada e saída para cerca de 30 produtos e processos da economia nacional. Trata-se, portanto, de uma excelente iniciativa. Entretanto, ainda se faz necessária a geração de dados e informações em diferentes setores da economia brasileira e em diferentes regiões do país, de modo que há significativas demandas por estudos que demonstrem o perfil ambiental de produtos e serviços nacionais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi analisar na literatura nacional e internacional os principais métodos de contabilização de GEEs aplicados aos sistemas alimentares em distintas cadeias de abastecimento, bem como, a partir da revisão realizada, apontar os principais dilemas que os métodos enfrentam ao aplicar-se à realidade brasileira. A partir da análise bibliométrica realizada, observa-se predominância dos métodos de contabilização de GEEs baseados na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que consiste em um instrumental para mensurar o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade, contabilizando na cadeia de valor de um produto a energia utilizada, resíduos gerados e outros recursos naturais consumidos.

Foram identificados e descritos dez métodos de contabilização de GEEs proeminentes na literatura. Realizada a identificação dos métodos, uma sistematização deles em torno de sua fronteira de análise principal foi proposta, os subdividindo em três grupos: contabilização regional; contabilização corporativa; e contabilização de produto. Os métodos de contabilização

regional são indicados para mensurar as emissões agregadas de um país, de um estado, de um município e de setores específicos de uma localidade. Na contabilização corporativa, o foco é dado as emissões de uma empresa ou instituição. Cabe destacar, que as emissões associadas à cadeia de valor da empresa são consideradas opcionais na maioria dos métodos. A contabilização de emissões de GEEs de produtos, por sua vez, utiliza como suporte teórico o conceito de ciclo de vida, em que as emissões do produto são contabilizadas do berço ao túmulo, isto é, da extração das matérias-primas até a disposição final do produto e seu descarte.

Dada a predominância dos métodos de contabilização baseados na ACV, procedeu-se com o levantamento das dificuldades encontradas na literatura ao aplicar-se o método à realidade brasileira. Nesse caso, a indisponibilidade de bancos de dados com os requisitos e características do país foi sinalizada como a maior limitação da aplicação do método em âmbito nacional, uma vez que boa parte dos estudos faz uso de bases internacionais, o que pode distorcer os resultados. O estabelecimento de maior objetividade no método, dado que não existe um método único para se conduzir uma ACV, deixando a questão de quais metodologias, métricas ou instrumentos que serão utilizados em aberto e a critério de cada organização, bem como questões correlatas, como a definição da cobertura temporal, espacial e tecnológica a ser considerada no estudo e as características de impacto ambiental a serem avaliadas, também implicam em significativas limitações apontadas na literatura. Outra dificuldade com alta frequência nos trabalhos relaciona-se à dificuldade de coleta de dados primários, que demandam grande esforço e tempo, uma vez que é relatado pouco contato entre pesquisadores e empresas para levantamento dos dados necessários para a realização de uma ACV.

Nesse sentido, destaca-se a necessidade de geração de dados e informações em diferentes setores da economia brasileira e em diferentes regiões do país para análise do desempenho ambiental de produtos e serviços nacionais. Especial destaque deve ser dado aos sistemas alimentares de abastecimento, uma vez que são transversais a diversos setores, decisivos para a segurança alimentar e nutricional da população, bem como estimativas apontam que representam 73,7% das emissões brutas totais do país em 2021. Assim, a agenda de investigação sobre as emissões de carbono em cadeias de abastecimento alimentar apresenta potencialidade de ser explorada no Brasil, segundo nossas condições de circulação de alimentos em diferentes tipos de cadeias e condições ambientais de sustentabilidade e de transportes.

AGRADECIMENTOS E INFORMAÇÕES

Os dados e análises apresentados neste trabalho de pesquisa são resultados do projeto “INTERFACES: Interfaces entre Clima, Alimento e Sociedade”, desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Agricultura, Alimentação e Desenvolvimento (GEPAD), sediado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e contando com o apoio da Faculdade de Ciências Econômicas (FCE), do Centro Interdisciplinar em Sociedade, Ambiente e Desenvolvimento (CISADE) e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural (PGDR). Esta pesquisa é financiada pelo Instituto Clima e Sociedade (iCS) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradece-se a todos pelos apoios disponibilizados e recursos financeiros para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ENERGIE (ADEME). **Bilan Carbone: Companies – Local Authorities – Regions**. Methodology guide: objectives and accounting principles. Version 6.1. France, 2010.
- ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **PAS 2050:2011**. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. London, 2011.
- CHAUHAN, M. K. *et al.* Life cycle assessment of sugar industry: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, n.7, p. 3445-3453, 2011.
- COSTA, C. *et al.* Roadmap for achieving net-zero emissions in global food systems by 2050. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 150-164, 2022.
- CUCURACHI, S. *et al.* Life cycle assessment of food systems. **One Earth**, v. 1, n. 3, p. 292-297, 2019.
- DENYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a systematic review. *In*: BUCHANAN, D. A.; BRYMAN, A. (ed.) **The Sage Handbook of organizational research methods**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications Ltd, 2009.
- DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS (DEFRA). **Guidance on how to measure and report your greenhouse gas emissions**. London: 2009.
- DINATO, R. M. **Sistematização dos métodos de contabilização de emissões de gases de efeito estufa sob a ótica do ciclo de vida**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The share of agri-food systems in total gas emissions: global, regional and country trends 1990-2019**. Roma: FAO, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb7514en/cb7514en.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.
- GARCIA, R.; FREIRE, F. Carbon footprint of particleboard: a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 199-209, 2014.
- HEIJUNGS, R.; GUINEE, J. B. An overview of the Life Cycle Assessment Method - past, present, and future. *In*: CURRAN, M. A. (ed.). **Life Cycle Assessment Handbook: a guide for environmentally sustainable products**. Salem, MA: Wiley-Scrivener, 2012.
- HUPPES, G.; CURRAN, M. A. Environmental Life Cycle Assessment: Background and Perspective. *In*: CURRAN, M. A. (ed.). **Life Cycle Assessment Handbook: a guide for environmentally sustainable products**. Salem, MA: Wiley-Scrivener, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). **Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida**. LAMB, C. M. S. R. (coord.): Brasília, DF: CNI/Ibict, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems: food security**. 2019. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2022/11/SRCCL_Chapter_5.pdf. Acesso em: 28 jun. 2023.

LÖFGREN, B.; TILLMAN, A.-M.; RINDE, B. Manufacturing actor's LCA. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 19, p. 2025-2033, 2011.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; PANDEY, J. S. Carbon footprint: current methods of estimation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 138, p. 135-160, 2011.

PIERAGOSTINI, C.; MUSSATI M. C.; AGUIRRE, P. On process optimization considering LCA methodology. **Journal of Environmental Management**, v. 96, n. 1, p. 43-54, 15 2012.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Estimativa de emissões de gases de efeito estufa dos sistemas alimentares no Brasil**. Observatório do Clima. 2023.

TUBIELLO, F. N. *et al.* Pre and post-production processes increasingly dominate greenhouse gas emissions from agri-food systems. **Earth System Science Data**, v. 14, n. 4, p. 1795-1809, 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global guidance principles for Life Cycle Assessment databases**. A basis for greener processes and products. Paris, France: 2011.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **The GHG Indicator**. UNEP guidelines for calculating greenhouse gas emissions for businesses and non-commercial organizations. Geneva, Switzerland: 2000.

WONGLIMPIYARAT, J. Does complexity affect the speed of innovation? **Technovation**, v. 25, p. 865-882, 2005.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **The Greenhouse Gas Protocol**. A corporate accounting and reporting standard. Revised Edition. Washington, DC: 2004.

WU, P.; XIA, B.; PIENAAR, J.; ZHAO, X. The past, present and future of carbon labelling for construction materials - a review. **Building and Environment**, v. 77, p. 160-168, 2014.

ZOCHE, L. **Identificação das limitações da ACV sob a ótica de pesquisas acadêmicas**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.