

## AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM PRODUTOS LÁCTEOS

*(Life cycle assessment in dairy products)*

Eder Luz Xavier dos SANTOS<sup>1\*</sup>; Clandio Favarini RUVIARO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Rua João Rosa Góes, 1761 - Vila Progresso, Dourados/MS, CEP: 79.825-070; <sup>2</sup>Faculdade de Ciências Agrárias (UFGD). \*E-mail: [ederpadrao@gmail.com](mailto:ederpadrao@gmail.com)

### RESUMO

Neste estudo objetivou-se a elaboração de revisão da literatura sobre as avaliações de ciclo vida de produtos lácteos especificamente queijos, com recorte temporal de 2000 a 2023. A unidade funcional de referência é de um 1kg de produto, conforme recomendação da International Dairy Federation (IDF), quantidade adotada pela maioria de estudos sobre ACV voltados para queijos, com detalhamento sobre teor de umidade, gordura e proteína, em função da diversidade de queijos existentes. A abrangência das pesquisas e estudos de ACV de queijos mussarela (nomenclatura adotada conforme a Portaria nº 364/1997); indicaram o uso de materiais e fontes de energia que geram impactos significativos, principalmente relacionados à energia térmica (depleção de ozônio, toxicidade humana e eutrofização), eletricidade e gás natural (mudanças climáticas e ecotoxicidade) e transporte (oxidantes químicos), com avaliação de várias variáveis que podem ser utilizadas para obtenção de rótulos ecológicos. Para se avaliar a sustentabilidade, faz-se necessário quantificar os potenciais impactos ambientais por meio de metodologias robustas e plenamente aceitas pela comunidade científica. Assim, optou-se pela utilização da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), pois atende os requisitos necessários. Uma das possíveis alternativas para minimização dos impactos ambientais resultantes da produção de bens de consumo é identificar os pontos críticos ao longo do ciclo de vida dos produtos: extração das matérias-primas, indústria de transformação, distribuição, utilização e descarte final, ou seja, do berço ao túmulo (da extração dos insumos até a disposição final).

**Palavras-chave:** Impacto ambiental, inventário, queijo mussarela, viabilidade econômica.

### ABSTRACT

*This study aimed to review the literature on life cycle assessments of dairy products, specifically cheeses, from 2000 to 2023. The functional unit of reference is 1kg of product, as recommended by the International Dairy Federation (IDF), a quantity adopted by most studies on LCA focused on cheeses, with details on moisture, fat, and protein content, depending on the diversity of existing cheeses. The scope of research and LCA studies on mozzarella cheeses (nomenclature adopted in accordance with Ordinance No. 364/1997) indicated the use of materials and energy sources that generate significant impacts, mainly related to thermal energy (ozone depletion, human toxicity, and eutrophication), electricity and natural gas (climate change and ecotoxicity), and transport (chemical oxidants), with assessment of several variables that can be used to obtain ecological labels. To assess sustainability, it is necessary to quantify potential environmental impacts through robust methodologies that are fully accepted by the scientific community. Thus, it was decided to use the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, as it meets the requirements. One of the possible alternatives to minimize the environmental impacts resulting from the production of consumer goods is to identify critical points throughout the products' life cycle: extraction of raw materials, processing industry, distribution, use and final disposal, that is, from the cradle to the grave (from extraction of inputs to final disposal).*

**Keywords:** Environmental impact, inventory, mozzarella cheese, economic viability.

### INTRODUÇÃO

A preocupação sobre a escassez de recursos energéticos fez surgir, no início da década de 1960, a metodologia Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com o objetivo de quantificar e mapear o consumo dos recursos naturais relacionados em sua grande maioria ao crescimento

populacional e consequente aumento do consumo. Desta forma, teve por objetivo encontrar novas fontes de energia alternativas, com estimação de emissões ambientais e custos de implementação, em relação as já existentes (SUNDSTROM, 1974; NUNES, 2018). Tais estudos, foram elaborados por empresas como a Coca Cola, porém, o interesse geral reduziu em função da falta relevância e confidencialidade das informações obtidas (NIGRI, 2012).

As décadas de 1970 (abrange carga ambiental) a 1990 (introdução dos modelos de custeio do ciclo de vida) são apontadas como o período de concepção da ACV, com a utilização de diversas abordagens e terminologias, porém, com a obtenção de resultados divergentes, o que limitou de forma provisória a aplicação da metodologia (ASSIES, 1992; GUINÉE *et al.*, 1993, GUINÉE *et al.*, 2011).

Já de 1990 a 2000 foi conhecida como a década da padronização, com o crescimento notório de atividades científicas e de coordenação de muitos estudos sobre ACV ao redor do globo, com a realização de *workshops*, fóruns e seminários, e número crescente de elaboração de guias e manuais sobre a temática (HAUSCHILD e WENZEL, 1998), bem como, com alguns artigos publicados em periódicos como o *Journal of Cleaner Production, Resources, Conservation and Recycling, International Journal of LCA* entre outros (GUINÉE *et al.*, 2011).

Nesse período a Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química (SETAC), nos Estados Unidos e Europa, começou a liderar e coordenar cientistas, usuários e profissionais de ACV, visando uma melhoria contínua, harmonização de estrutura, terminologia e metodologia. Foi então elaborado o Código de Prática da SETAC (CONSOLI, 1993) e a parceria entre *International Organization for Standardization* (ISO) e SETAC, ocorrendo desde 1994 (GUINÉE *et al.*, 2011). Desse trabalho surgiram dois padrões internacionais: ISO 14040 (2006E) Gestão Ambiental (ACV - Princípios e enquadramentos) e ISO 14044 (2006E) Gestão Ambiental (Avaliação do Ciclo Vida - Requisitos e orientações) (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006, ISO, 2006), com a definição da estrutura metodológica da ACV: definição do objetivo e do âmbito, análise do inventário e interpretação dos impactos ambientais (ISO, 2006).

Por outro lado, a ACV social e consequencial ganhou terreno na primeira década do século 21. Muitos dos estudos mais recentes visam ampliar a ACV ambiental para a Análise de Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) com maior abrangência (estrutura de integração transdisciplinar de modelos), integrando questões de sustentabilidade do ciclo de vida, com identificação de lacunas de conhecimento e modelos relacionados, com definição de programas para preencher tais lacunas, ou seja, integração de diversas áreas para se conseguir algo mais abrangente (GUINÉE *et al.*, 2011).

Anteriormente, os estudos se restringiam a apenas algumas categorias de impacto ambiental (uso cumulativo de energia, resíduos sólidos), evoluindo para impactos mais complexos (biodiversidade e ruído) e, conseqüentemente, para impactos econômicos e sociais, ou seja, a ACV cresce em aplicação, amplitude e profundidade. Neste sentido, em 2002, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a SETAC lançaram uma parceria Internacional de Ciclo de Vida, a *Life Cycle Initiative* (LCI) (GUINÉE *et al.*, 2011).

Nos anos de 2010 a 2020, foi a década de análise de capacidade de sustentabilidade da ACV, visto que a ferramenta ampliou seu escopo para cobrir as três dimensões da sustentabilidade (pessoas, planeta e prosperidade). Ela amplia o escopo somente em produtos, para questões relacionadas ao nível de setor, que engloba aspectos econômicos, sociais e

ambientais. Ampliação das relações meramente tecnológicas, para relações econômicas e comportamentais, no intuito de fortalecer sua sustentabilidade e usabilidade (JESWANI *et al.*, 2010).

A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental, com reconhecimento internacional, de natureza voluntária, que possibilita a identificação, mensuração e avaliação de impactos ambientais e socioeconômicos de processos produtivos ao longo de todo seu ciclo de vida, por meio de análise e quantificação do uso de recursos naturais ou recursos de entrada e das emissões ambientais ou saídas, para se estabelecer a adoção de medidas de mitigação (CABRAL *et al.*, 2021). Assim sendo, a ACV é uma das ferramentas mais utilizadas em setores agroalimentares, na mensuração de seus impactos, visto à sua eficácia (JESWANI *et al.*, 2010).

Nesse contexto objetivou-se a elaboração desse trabalho de revisão sobre as avaliações de ciclo vida de produtos lácteos, especificamente queijos, com um recorte temporal de 2000 a 2023, contendo as seções de desenvolvimento e considerações.

## DESENVOLVIMENTO

Estudos de ACV são estruturados em análises que envolvem entradas de recursos da natureza e as saídas (emissões) de cada processo relativo ao ciclo de produção de um produto, com a avaliação dos impactos ambientais inerentes aos processos produtivos, crucial ferramenta de apoio à gestão ambiental (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006; CASTANHEIRA, 2008; NIGRI, 2012; NUNES, 2018). Uma ferramenta utilizada para calcular emissões e uso de recursos ao longo do ciclo de vida de um produto, frequentemente usada em vários países para estudar o potencial impacto ambiental do leite e suas cadeias produtivas (CEDERBERG., 2000; EIDE., 2002; HOSPIDO *et al.*, 2003; CASEY e HOLDEN., 2005; CASTANHEIRA., 2008).

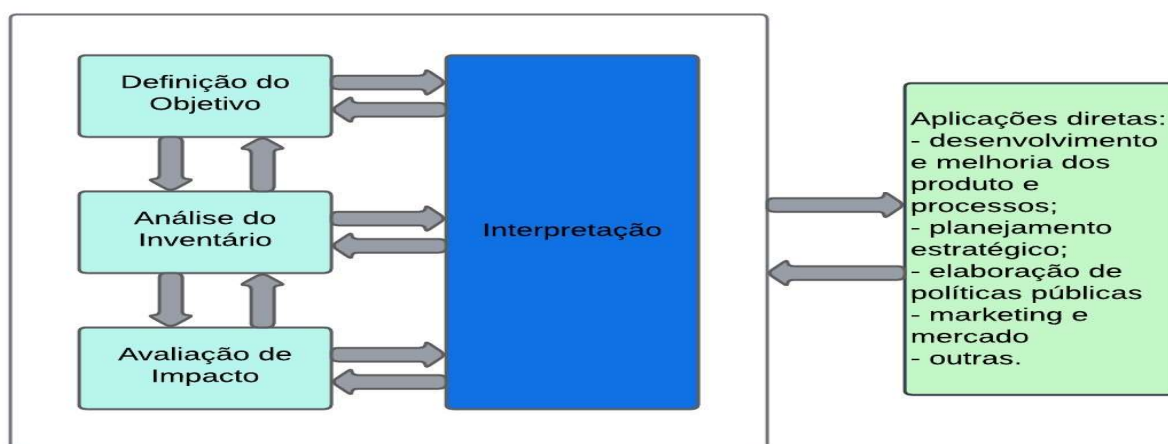
Neste contexto, a ACV é um dos métodos mais aceitos internacionalmente para avaliação de impactos ambientais relacionados a produtos e suas atividades de produção (HOSPIDO *et al.*, 2003). Esse método auxilia na tomada de decisão sobre os impactos ambientais causados na produção de determinados produtos, com identificação de oportunidades e melhorias dos aspectos ambientais nas fases de um sistema de produção (entrada, processamento e saída).

Desta forma, fornece uma visão geral do real impacto causado na fabricação de determinados produtos, visto que em alguns casos há altas descargas ambientais que consomem significativa quantidade de recursos naturais (BERLIN, 2002; NIGRI, 2012), portanto é possível determinar o desempenho ambiental, com comparação entre produtos e processos para se identificar a melhor opção (NIGRI *et al.*, 2009).

A ACV é uma metodologia que proporciona uma avaliação quanti-qualitativa dos impactos provocados pelos produtos, porém, não apenas durante os processos produtivos, mas também ao longo dos demais estágios da vida do produto, como na obtenção de matérias-primas elementares e a produção de energia necessária para suprir o sistema de produção (NBR ISO 14040, 2009; NUNES, 2018). A ACV possibilita a quantificação dos potenciais impactos por meio de uma análise “berço ao túmulo”, tendo como base a definição e utilização de uma unidade funcional (ISO, 2006; KLOPFER, 2008; FINNVEDEN *et al.*, 2009; ROY *et al.*, 2009; SEÓ *et al.* 2017).

A junção dos dados da análise dos recursos de entradas e saídas, possibilita a elaboração de bases de dados de inventário, no intuito de facilitar a análise e avaliação decorrentes dos impactos ambientais gerados em cada produto ou processo de produção. Todas as extrações de recursos e emissões ambientais (geradas ao longo do ciclo de vida do produto ou serviço) são consideradas durante o período do estudo, ou seja do criação do produto até o seu consumo (BERLIN, 2002; ISO, 2006; KLOPFER, 2008; FINNVEDEN *et al.*, 2009; ROY *et al.*, 2009; SEÓ *et al.*, 2017; NUNES, 2018). Neste sentido, a ACV possibilita a análise de possíveis melhorias futuras nas etapas consideradas mais críticas dos processos produtivos, contribuindo para inovações e redução dos impactos ambientais (NUNES, 2018).

As fases de desenvolvimento de uma ACV, conforme as normas ISO 14040:2006 (ISO 2006). As fases que compõem a aplicação do método ACV são quatro: Definição do Objetivo e Escopo, Análise do Inventário, Avaliação do Impacto e Interpretação (Fig. 01).



(Fonte: Adaptado ISO 14040, 2006)

**Figura 01:** Fases de desenvolvimento de uma avaliação de ciclo de vida.

A 1ª fase: Definição do Objetivo e Escopo, são delimitadas as características do sistema a ser estudado e quais os instrumentos (meios) serão utilizados para a coleta de dados. Na 2ª fase: Análise de Inventário, é elaborado um levantamento de entradas e saídas de insumos como: energia, água, resíduos, materiais de limpeza inerentes ao sistema analisado. A 3ª fase: Avaliação do Impacto, é feita a associação dos dados obtidos na análise do inventário com respectivas categorias e impactos, ou seja, calcula-se o impacto ambiental gerado durante o ciclo de vida do produto, para tanto são selecionadas as categorias e indicadores no intuito de mensurar as emissões, uso de recursos e demais fatores conforme as categorias selecionadas (HINZ, 2007). Já na 4ª fase: Interpretação, são analisadas a consistência dos dados, com apresentação das conclusões do estudo (CHEHEBE, 1998; GUINÉE, 2002).

### Vantagens e limitações da ACV

A ACV fornece uma visão ampla das interações de uma determinada atividade com o meio ambiente e permite avaliar as consequências ambientais inerentes da atividade humana, com identificação de oportunidades de ecoeficiência (foco em um futuro mais sustentável) por meio de indicadores ambientais (CASTANHEIRA, 2008; NIGRI, 2012; GONZÁLEZ-

GARCÍA *et al.*, 2013). Neste sentido, ações antrópicas são apontadas como responsáveis por grande parte das mudanças climáticas detectadas até o momento e suas consequências futuras, o reconhecimento das mudanças no clima constituem em um grande problema e aponta-se a busca por um desenvolvimento sustentável, com objetivos claros e a percepção da finitude dos recursos naturais (PELLEGRINO *et al.*, 2007).

A metodologia ACV é valiosa para o setor industrial dimensionar os seus produtos e processos como ciclos de vida, visto que é uma ferramenta auxiliar da gestão ambiental a curto prazo e para o desenvolvimento sustentável a longo prazo, pois contribui na tomada de decisão com melhorias nos processos e produtos, com a implementação de estratégias e políticas mais conscientes (HEISKANEN, 2000; CASTANHEIRA, 2008).

A ACV pode ser utilizada como fonte de comparação entre produtos semelhantes concorrentes, com a definição dos problemas principais do produto ou processo que apresentam maior impacto ambiental ou energético (*hotspots*) e maximizar alterações que possam otimizar a produção (CASTANHEIRA, 2008; NIGRI, 2012). Estudos de ACV fornecem informações para os relatórios de sustentabilidade e ambientais ou a comunicação do desempenho ambiental de produtos com uso de rótulos ecológicos (NUNES, 2018).

A ACV possui algumas limitações quanto ao seu uso, como: a grande quantidade de informações que nem sempre é disponibilizada totalmente por questões de confidencialidade; o grau de incerteza em função da variedade de fonte de coleta dos dados (artigos científicos, bases de dados públicas e comerciais, outros estudos de ACV); a falta de um estudo mais abrangente que contemple todos os fluxos; a alta complexidade no processamento dos resultados, tais incertezas são inerentes à metodologia, o que sugere esforços contínuos para sua minimização (CASTANHEIRA, 2008; GUINÉE *et al.*, 2011, DIAS, 2011). A metodologia necessita de combinação com outras ferramentas para gestão, pois não considera fatores: sociais, políticos ou culturais (NIGRI, 2012).

### **Fases de Avaliação do Ciclo de Vida**

Como citado anteriormente o estudo em ACV inicia-se com a definição do objetivo e escopo. Na definição do objetivo, deve-se especificar o que motivou a pesquisa, qual o objetivo e a quem se destinam os resultados finais (CASTANHEIRA, 2008).

O objetivo é obter uma compreensão mais clara dos sistemas existentes, para determinar o estudo dos pontos-chaves do processo ou produto e fornecer possibilidades de melhorias. Também permite a integração com outros sistemas e seus impactos potenciais. O escopo representa o processo ou sistema de produto a ser analisado, com delineamento dos seus limites e outras características funcionais da pesquisa (ELCOCK, 2007). De acordo com a norma ISO 14040:2006 (CASTANHEIRA, 2008), no que diz respeito ao âmbito do estudo de ACV, devem ainda ser especificamente considerados e descritos os seguintes pontos:

**Descrição do sistema e objeto de estudo:** o sistema de estudo (produto ou processo) é analisado de forma clara e descritiva por meio de um fluxograma. Aqui também os limites do sistema são definidos e devem ser considerados de acordo com os objetivos da pesquisa, leve-se em consideração os processos mais importantes do produto e descarta-se os mais insignificantes que não ajudam a mudar as mesmas conclusões. A unidade funcional também

deve ser construída de tal forma, ou seja, criar uma unidade quantitativa que relacione todos os fluxos de entrada e saída do sistema.

**Procedimentos principais:** definição dos subsistemas principais e a profundidade da realização do estudo, apontamentos de questões específicas como: motivo da escolha das categorias de impacto e nível de detalhes devem documentados, como também os critérios de exclusão do produto.

**Crítérios de avaliação:** devem ser aplicados durante a fase de avaliação de impacto e ser definidos antes da coleta de dados para o inventário, a fim de minimizar coletas desnecessárias para os propósitos do estudo. Os principais aspectos a considerar neste ponto são: os impactos ambientais e o consumo de recursos.

**Requisitos de qualidade dos dados:** define-se os graus de precisão ou a qualidade do resultado final, as fontes de coletas de dados as estimativas realizadas.

A Norma ISO 14041 (1998) acrescenta que devem ser considerados os seguintes itens:

- As funções do sistema de produto: ou no caso de estudos comparativos, sistema, ou seja, a finalidade do produto em estudo, uso pretendido e até mesmo características de desempenho do produto;
- A unidade funcional: medida que permite a mensuração da função definida, visto que representa o desempenho das saídas funcionais do sistema estudado, visando assegurar a comparabilidade de resultados da ACV;
- O sistema de produto a ser estudado: finalidade do produto estudado e suas características de desempenho;
- As fronteiras do sistema de produto: quais processos básicos ou subdivisões do sistema serão incluídos no estudo a ser modelado, o ideal é que entrada e saída são fluxos elementares;
- Procedimentos de alocação: necessários quando se trabalha com sistemas que envolvem múltiplos produtos. Fluxos de materiais e energia, e as liberações ambientais atribuídas, devem ser atribuídos a diferentes produtos, por procedimentos claramente estabelecidos;
- Tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação a serem utilizados;
- Requisitos que especificam as características dos dados necessários para o estudo;
- Limitações da análise, que envolvem fronteiras do sistema, métodos aplicados, qualidade dos dados entre outros;
- Análise crítica, técnica utilizada para verificar se um estudo da ACV cumpriu com os requisitos: da metodologia proposta, coleta de dados e relatório produzido;
- Tipo e formato do relatório requisitado para o estudo. Os resultados da ACV devem ser relatados para o público-alvo de forma completa e precisa. O tipo e o formato do relatório devem ser definidos na fase de escopo de estudo.

Segundo a NBR ISO 14040 (2009), o conteúdo básico do escopo de um estudo em ACV deve contemplar suas três dimensões: a) extensão: onde se deve iniciar e parar o estudo; b) amplitude: quantos e quais subsistemas incluem; c) Profundidade: nível de detalhamento (CHEHEBE, 1998).

### **Análise de Inventário do Ciclo de Vida (AICV)**

Na elaboração do Inventário do Ciclo de Vida, é realizada a compilação e quantificação das entradas e saídas do produto durante seu ciclo de vida, ou seja, quantificar a energia, matérias-primas e materiais secundários, produtos e coprodutos, emissões atmosféricas, emissões para água e solo, resíduos sólidos e demais dejetos gerados durante o ciclo de vida do produto, processo ou atividade. Tratados, os dados do inventário são utilizados para avaliar os impactos ambientais oriundos do ciclo de vida do produto (NBR ISO 14040, 2009; FINNVEDEN *et al.*, 2009; ROY *et al.*, 2009).

Na coleta de dados alguns parâmetros devem ser observados: cobertura temporal (idade desejada dos dados, período de amostragem), cobertura geográfica (área geográfica compatível com os objetivos do estudo) e cobertura tecnológica (combinação, identificação e diferenças tecnológicas existentes nos processos estudados) (RIBEIRO, 2009).

Os fluxos contabilizados para estudos em ACV, podem ser fluxos de materiais, como matérias-primas e produtos, ou fluxos de energia, como eletricidade, combustíveis e emissões para a atmosfera, água e solo, ou seja, entradas e saídas. A disposição do inventário facilita análises futuras, permitindo entender e avaliar o possível impacto de cada sistema de produto (ISO 14041, 1998; NUNES, 2018).

No fluxograma de análise de ICV deve ser incluído a coleta de dados e procedimentos de cálculo para garantir a compreensão e a consistência do sistema que está sendo analisado, incluindo, entre outros fatores, a coleta de dados; atribuição de dados em um formulário ou planilha; validação de informação; relacionamento de dados com processos subjacentes; relacionamento de dados com unidades funcionais; agregação de dados e refinamento dos limites do sistema (NIGRI, 2012).

### **Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)**

Recomenda-se que a avaliação de impacto deve conter três etapas: seleção de categorias (indicação das categorias de impacto a partir dos objetivos propostos nos estudos), classificação (alocação dos resultados e correlação com as categorias selecionadas) e caracterização (indicação de um valor numérico de referência e equivalência para análises) (NBR ISO 14040, 2001, NIGRI, 2012). De forma geral, essa etapa envolve a associação de dados do inventário com as categorias e indicadores de impacto específicos, no intuito de compreender tais impactos (NBR ISO 14040, 2009).

Uma vez desenvolvido o inventário, o mesmo pode ser avaliado para facilitar a análise do grau de impacto em cada subsistema considerado. Conforme a ISO 14044 (2006) há seis fases na AICV: classificação e caracterização (consideradas obrigatórias), normalização, agrupamento, ponderação e avaliação como opcionais (SANTOS e FERNANDES, 2012).

A primeira etapa obrigatória, classificação, consiste em atribuir indicadores ambientais a categorias de acordo com seu impacto, para a pesquisas no segmento agroalimentar são usadas principalmente as categorias mudanças climáticas, eutrofização da água e acidificação da terra, todas de caráter ambiental (CASTANHEIRA, 2008).

Na etapa de caracterização estabelece-se à constituição de indicadores de impacto, ou seja, momento em que os dados já categorizados são convertidos em unidade equivalentes (BAUMANN e TILLMAN, 2004; HINZ, 2007). A cada substância é atribuído um impacto

potencial em sua categoria de impacto, que representa um valor numérico. Considera-se o impacto potencial associado ao fator dominante na categoria. No caso das mudanças climáticas, isso seria a emissão de 1kg de CO<sub>2</sub> equivalente (NIGRI, 2012). O impacto relativo é multiplicado pela quantidade de cada emissão, e os valores dos impactos resultantes são somados dentro de cada categoria (CASTANHEIRA, 2008).

Os elementos utilizados na avaliação de impacto do ciclo de vida. A NBR ISO 14040 (2009) define alguns termos utilizados na AICV: categoria de impacto, classificação, fator de caracterização e normalização.

### **Interpretação**

A interpretação é a etapa da ACV na qual os resultados da análise do inventário e da avaliação de impacto, ou no caso dos estudos de inventário de ciclo de vida, apenas os resultados da análise de inventário combinados e alinhados com o objetivo e escopo estipulados, no intuito de alcançar conclusões e recomendações (NBR ISO 14040, 2001).

Nessa fase os resultados obtidos nas fases anteriores são avaliados conforme propostos no início do estudo, embora todo levantamento de dados, fluxos de massa e energia e cálculo de impacto já tenham sido executados, a fase de interpretação é importante para ACV, nela são apresentados e aferidos os resultados, identificação de pontos críticos e apontamento de melhorias como: substituição ou reformulação de processos, recuperação de materiais, com foco na preservação ambiental (VALT, 2004; NIGRI, 2012).

Durante a fase de interpretação, pontos importantes devem ser baseados nos resultados do estudo, tais como: energia e outros. Também deve garantir que todas as informações relevantes para a interpretação estejam completas, verificar se os resultados são afetados pela incerteza no momento da aplicação dos métodos ou cálculos. Para finalizar, verificar se a conclusão é consistente com requisitos do objetivo e escopo do estudo, incluindo a qualidade dos dados, premissas e valores pré-definidos (NBR ISO 14040:2009; RIBEIRO, 2009).

As fronteiras do sistema podem ser analisadas berço ao túmulo (*cradle-to-grave*), dentro do escopo do sistema em consideração, incluindo todos os processos, desde a exploração de recursos até o gerenciamento de resíduos, ou se algumas partes foram consideradas irrelevantes, pode-se recorrer a um estudo do berço até o portão (*cradle-to-gate*) pode-se partir da exploração, ou limitando-se ao processo final de produção, omitindo as etapas de distribuição e deposição (GASPAR, 2016).

Na fase de interpretação do ciclo de vida são incluídos alguns elementos de acordo com a (NBR ISO 14044:2009), tais como: apontamento das questões significativas em consideração aos resultados das fases de ICV e AICV da ACV; avaliação de verificação de incerteza, sensibilidade e inconsistência do estudo; resultados, limitações e recomendações. Após a análise e interpretação dos resultados obtidos, é possível identificar pontos-chaves para melhorias ou inovações em produtos e processos para proteger o meio ambiente (PIEKARSKI *et al.*, 2012).

### **Avaliação do Ciclo de Vida na cadeia de lácteos**

As avaliações do ciclo vida de produtos lácteos foram iniciadas no início da década de 2000, com o uso da metodologia para análise da cadeia produtiva de derivados do leite, tais



exemplos incluem queijo, iogurte, requeijão. Estudos como de Hospido *et al.* (2003), Fantin *et al.* (2012), González e *et al.* (2013) e Djekic *et al.* (2014) apontam que a produção de leite na fazenda é a principal fase emissora de gases de efeito estufa (GEE), pois os maiores impactos em diferentes categorias se devem à fase de produção.

Nesse contexto, um dos primeiros estudos de ACV em laticínios foi o de Berlin (2002), que realizou uma análise de ACV de queijo par-maduro da Suécia, incluindo também o tratamento de efluentes no limite do sistema. Foi verificado que o componente agrícola teve maior influência nos vários parâmetros considerados (animais produtores de metano e maquinários emissores de CO<sub>2</sub>, fertilizantes nitrogenados usados na produção de rações), sendo a queijaria (processamento do leite) o segundo maior fator. Em termos de energia, nas explorações leiteiras consome-se mais energia, principalmente os combustíveis fósseis utilizados para transportar o leite em veículos utilizados para transporte. Os principais critérios de avaliação de impacto foram: a acidificação, o aquecimento global e a eutrofização.

Estudo de Thomassen *et al.* (2008b) e Cederberg e Mattsson (2000) compararam dois sistemas de produção de leite: convencional e orgânico (ou biológico) na Holanda e na Suécia. Por meio da ACV, os dois estudos tiveram como objetivo comparar dois tipos de sistemas de produção associados à cadeia produtiva do leite (convencional e orgânico). Hospido *et al.* (2003) examinaram o ciclo de vida da produção e processamento do leite cru para quantificar os potenciais ambientais de duas fábricas de processamento de leite (produzindo leite UHT para consumo humano) e de duas fazendas leiteiras representativas na região galega da Espanha.

O estudo de Bartl *et al.* (2011) apresenta o ciclo de vida do leite produzido em dois sistemas típicos de produção familiar no Peru (costeiro e montanhoso) para quantificar e comparar seus impactos ambientais. Os componentes dos dois sistemas são analisados especificamente por serem fazendas diferentes, seja em termos de tipo de rebanho leite insumos relacionados, qualidade dos alimentos, localização geográfica ou mesmo dentro do mesmo país.

Já o estudo de Thoma *et al.* (2013a) conseguiu uma análise do berço ao túmulo da pegada de carbono de toda a cadeia do leite, ou seja, desde a produção até o descarte final de resíduos de embalagens, para quantificar as emissões de gases de efeito estufa. A cadeia de estudo é dividida em nove etapas, incluindo produção de alimentos, produção de leite, entrega à indústria processadora, beneficiamento do leite, embalagem, distribuição, varejo, consumo e destinação final dos resíduos. No entanto, os autores analisaram essas etapas separadamente e finalmente as combinaram para fornecer uma pegada de ciclo de vida completo.

No estudo de De Léis (2013) considerando as categorias acidificação, eutrofização, ocupação do solo e demanda cumulativa de energia, usando a abordagem CML (método desenvolvido pelo Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, Holanda) e rejeitando a hipótese, as emissões foram de 7,73g SO<sub>2</sub>eq, 4,07g PO<sub>4</sub>eq, 0,71m<sup>2</sup>a e 3,98 MJeq/kg de leite corrigido para energia respectivamente. Para Pegada de Carbono, a hipótese foi confirmada, pois o sistema de produção de leite em confinamento apresentou o melhor desempenho, produzindo 0,53kg de CO<sub>2</sub> equivalente por kg de leite corrigido. Ao considerar o impacto da mudança direta do uso da terra (dLUC) na produção de caroço de algodão no Centro-Oeste do Brasil, a Pegada de Carbono foi 45%, 37% e 37%, superior para os sistemas confinado, semi confinado e a base de pasto respectivamente (DE LÉIS, 2013).

A fase de produção de leite cru nas fazendas é considerada a de maior impacto no meio

ambiente, cerca de 80% a 93% das emissões. Emissões de metano (CH<sub>4</sub>) (fermentação intestinal e fezes), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (óleo diesel), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e amônia (NH<sub>3</sub>), e emissões de nitrato (NO<sub>3</sub>) de água proveniente do gerenciamento de estrume e fertilizantes. Os maiores contribuintes para os estágios de processamento são elétricos, térmicos, materiais de limpeza e embalagens (FANTIN *et al.*, 2012; NIGRI *et al.*, 2012; KIM *et al.*, 2013; DJEICK *et al.*, 2014; JUNIOR *et al.*, 2016 e FINNEGAN *et al.*, 2017)

As emissões da produção de leite têm o maior impacto na fazenda. No estudo, obteve-se o resultado de 8,8kg de CO<sub>2</sub> eq para 1 kg de leite em termos de produção de leite apenas na fazenda foram emitidos 8,3kg de CO<sub>2</sub> eq, a fase industrial obteve participação de 0,4kg de CO<sub>2</sub> eq. Durante a fabricação do queijo, o maior contribuinte para a categoria de aquecimento global foi a queima de gás (BERLIN, 2002). Já Van Midellar (2011) concluiu em seu estudo que o GEE teve um resultado de 8,5kg CO<sub>2</sub> eq, a participação na produção foi de 3% em relação ao consumo de energia e utilização de gás natural. Segundo González-García *et al.* (2013a), as emissões totais para a categoria de acidificação potencial foram de 21% e 41%, respectivamente. Neste sentido, pesquisas González-García *et al.* (2013d) demonstrou que o GEE para produção de agente de limpeza, entrega de insumos e produção de energia, totalizaram cerca de 49% um percentual significativo em relação aos demais fatores analisados.

Para entender as possíveis emissões de GEE, foi feito um levantamento de estudos ACV aplicados à produção de lácteos, para avaliar os impactos na produção em alguns países, que visaram à avaliação do desempenho ambiental das fazendas leiteiras. Tais estudos demonstraram que a etapa de obtenção do leite cru é a de maior impacto ambiental (CEDERBERG e MATTSSON, 2000; PHETTEPLACE *et al.*, 2001; CEDERBERG e STADIG, 2003; DE BOER, 2003; VAN DER WERF; KANYARUSHOKI; CORSO., 2009; VAN MIDDELAAR *et al.*, 2011; FLYSJÖ *et al.*, 2011; O'BRIEN *et al.*, 2012; DJEKIC *et al.*, 2014; NUNES, 2017; DALLA RIVA *et al.*, 2017; FINNEGAN *et al.*, 2017; NUNES *et al.*, 2020, BORGHESI *et al.*, 2022).

A produção de ração e as emissões de animais são os principais impulsionadores da produção de leite cru, com análise de itens como: eletricidade e gás natural, as embalagens (cartão e plásticos), transporte, tratamento de águas residuais e perdas no sistema de refrigeração afetam as emissões da fazenda até o laticínio. O efeito dentro da fábrica é determinado principalmente pelo uso de eletricidade para armazenamento de mussarela, transporte de mussarela e eliminação de resíduos. O valor médio das emissões foi de 6,66kg/eq de CO<sub>2</sub> e 45,1 MJ/kg de demanda cumulativa de energia/kg de mussarela produzida diretamente do leite cru, enquanto a mussarela de requeijão comprada possui emissões mais altas do que mussarela de leite cru devido ao acréscimo do transporte (DALLA RIVA *et al.*, 2017).

O cultivo de ingredientes concentrados e a produção de leite na fazenda são os maiores contribuintes para o impacto ecológico da produção de queijo. Considerando as etapas de processamento a jusante do portão da fazenda, como fabricação de queijo, armazenamento, embalagem e varejo, o impacto nas mudanças climáticas e no uso de energia fóssil é determinado principalmente pelo uso de energia fóssil, enquanto seu impacto no uso da terra é secundário. Reduzir o impacto da produção de leite na fazenda e os estágios anteriores relacionados, especialmente o cultivo de ingredientes concentrados, deve ser mais eficaz na redução do impacto ecológico do queijo. A minimização de perda de leite e queijo em todas as

etapas após a saída da fazenda é considerado uma importante opção de melhoria para reduzir o impacto ecológico por quilo de queijo em toda a cadeia de abastecimento, (VAN MIDDELAAR *et al.*, 2011; VERGÉ *et al.*, 2013; DJEKIC *et al.*, 2014). Como a produção de leite cru tem o maior impacto ambiental, estratégias de mitigação em nível de fazenda precisam ser implementadas, especialmente aquelas relacionadas à fermentação entérica e manejo de esterco (FINNEGAN *et al.*, 2017).

Estudos de Castanheira *et al.* (2009), Thomassen *et al.* (2008a); Cederberg e Mattsson (2000), Hospido *et al.* (2003) e Bartl *et al.* (2011) consideraram a alocação econômica como legítima para alocar seus coprodutos. Entre os estudos que consideram a distribuição econômica como reconhecida, o estudo de Castanheira *et al.* (2009) atribuem 87% ao leite e 13% à carne. Já Thomassen *et al.* (2008a) em estudo sobre a produção convencional atribuiu 91% ao leite, 8,2% aos animais e 0,8% às culturas de exportação, enquanto para a produção orgânica atribuiu 90% ao leite e 6,6% aos animais e 3,4% às culturas de exportação e estrume. O estudo de Cederberg e Mattsson (2000) fez uma alocação econômica de concentrados (rações), além de outros critérios de alocação empregados. Nos estudos de Hospido *et al.* (2003) e Bartl *et al.* (2011) não mencionaram o percentual de cada coproduto.

Estudos de Cederberg e Mattsson (2000), Basset-Mens *et al.* (2005) e Basset-Mens *et al.* (2008) assumem seus critérios de alocação com base na causalidade biológica. Esses três estudos se referiram à presença de forragem e atribuíram 85% ao leite e 15% à carne como porcentagens de alocação.

Estudos de Cederberg e Mattsson (2000) consideraram a alocação mássica como critério. Em Cederberg e Mattsson (2000) as atribuições de massa foram feitas apenas para matérias-primas de origem agrícola, enquanto em Thoma *et al.* (2013a) foi feita alocação de massa de leite e carne. Nenhum dos estudos apresentou os respectivos percentuais de alocação.

Os estudos Cederberg e Mattsson (2000) e Casey *et al.* (2004) consideraram a alocação mássica como critério, enquanto que Cederberg e Mattsson (2000) é feita uma alocação mássica apenas para as matérias-primas de origem agrícola, no estudo Thoma *et al.* (2010) é feita alocação mássica ao leite e à carne. No entanto, nenhum dos estudos apresentam as respectivas porcentagens de alocação. Nos estudos propostos por Thoma *et al.* (2013a e 2013b) os autores referem-se ao uso de critérios de alocação baseados na expansão do sistema, causalidade biológica, valor econômico e massa. No entanto, eles não mostram quais coprodutos estão associados a cada critério de alocação, nem os percentuais relativos.

Já a pesquisa Thomassen *et al.* (2008b) incluem o ciclo de vida necessário para a produção de leite cru, incluindo o transporte associado à produção da matéria-prima. Remédios, sementes e máquinas foram excluídos devido ao seu pequeno impacto. Edifícios também foram excluídos devido a semelhanças entre diferentes tipos de fazendas. Estudos de Basset-Mens *et al.* (2005); Basset-Mens *et al.* (2009b); Middelaar *et al.* (2011) abrangem todas as etapas da produção de leite cru, do berço à fazenda, incluindo todos os processos à fazenda relacionados (produção de ração, transporte, construção, maquinário entre outros). No processo de industrialização do leite, objeto deste trabalho, Djeckic *et al.* (2014), realizaram a avaliação do leite pasteurizado e seus derivados como: iogurte, creme, manteiga e queijo. Sua unidade funcional (UF) definida como 1kg de produto final, ao aplicar a abordagem ACV identificaram que as principais etapas e recursos utilizados na produção de leite que produziram maiores

impactos ambientais foram as entradas de bens no portão da fábrica e o consumo de energia.

Estudos voltados para análise comparativa dos impactos associados ao processamento do leite UHT, ou seja, a sua produção para consumo humano foram realizados (HOSPIDO *et al.*, 2003; CASTANHEIRA *et al.*, 2008; THOMA *et al.*, 2013a). As análises começaram na porta do laticínio (saída da exploração leiteira) e todas as etapas do leite industrial são integradas (desde a entrega do leite cru, até a exportação para a indústria processadora) devidamente embalado e pronto para a etapa de distribuição. Porém, as etapas subsequentes de processamento, ou seja, distribuição, consumo e disposição final dos resíduos associados, não foram consideradas.

Em termos de categorias de impacto as categorias mais utilizadas nos estudos foram: potencial aquecimento global (GWP), acidificação (AP), eutrofização (EP) presentes nos estudos voltados para exploração leiteira: Wetterich; Köpke (2001); Cederberg; Mattsson (2002); Haas; Eide (2002); De Boer (2003); Cederberg; Stadig (2003); Hospido *et al.* (2003); Thomassen e De Boer (2005); Hospido; Sonesson (2005); Castanheira (2008); Thomassen *et al.* (2008); Thomassen *et al.* (2008b); Nilsson *et al.* (2008); Yan *et al.* (2011); Olszensvski (2011); Fantin *et al.* (2012); Doublet *et al.* (2013); González-García *et al.* (2013c); Nguyen *et al.* (2013); Guerci *et al.* (2013);) Thoma *et al.* (2013b), já na fabricação de queijo e outros derivados como: manteiga, creme de leite e iogurte e outros derivados, tais categorias de impacto foram utilizadas por: Berlin (2002); Haas; Wetterich; Köpke (2003); Castanheira (2008); Nilsson *et al.* (2010); Nigri *et al.* (2012); González-García *et al.* (2013b); González-García *et al.* (2013d); Djekic *et al.* (2014); Júnior *et al.* (2014); Rööös *et al.* (2016); Palmieri *et al.*, (2017); Dalla Riva *et al.* (2017); Nunes (2017); Finnegan *et al.* (2018); Nunes *et al.*; (2020); Berlese *et al.* (2019); Ghinea e Leahu (2023).

Os maiores estudos sobre LCA de produtos lácteos são principalmente os realizados na Espanha e Itália, pelos seguintes pesquisadores: Hospido *et al.* (2003); Hospido e Sonesson (2005); Meneses *et al.* (2012). Hospido *et al.* (2003), analisaram em detalhe a produção de leite espanhol na Galiza ao longo de dois anos e assim obtiveram dados de inventário sobre rações compostas, silagem das fábricas de leite. Finalmente, sugeriram algumas mudanças a nível alimentar que reduziriam o impacto ambiental global em cerca de 20%. Palmieri *et al.* (2017) se basearam na produção de queijo mussarela em uma fazenda leiteira com três tipos de alimentos diferentes. A primeira utilizou palha, a segunda utilizou silagem e a terceira utilizou silagem e soro de leite líquido. O soro de leite líquido é considerado o maior poluente durante a fase de produção do queijo e para reduzir este efeito foi fornecido como alimento ao gado.

No contexto espanhol, analisou a fabricação do queijo galego San Simon da Costa, centrando-se na produção de soro de leite em pó e mencionando o aumento dos custos de eletricidade que implica em contrapartida, a redução da influência ambiental. Menciona também a importância da elaboração de estudos de ACV a partir de dados reais, que neste caso foram coletados por meio de questionários e entrevistas *in loco*. Embora o leite fosse proveniente de várias fazendas, apenas uma foi considerada, por ser um produto regional, todos os fornecedores foram considerados como tendo práticas e métodos agrícolas semelhantes. Outro ponto importante mencionado é que as pequenas operações de laticínios nem sempre são mais ecológicas, devido aos maiores requisitos de energia em comparação com a produção industrial (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2013b).

Através de análises de três laticínios (pequeno, médio e grande porte) em diferentes partes (etapas de processamento) na Noruega. Com base no gasto de energia, obteve-se o maior impacto em uma planta industrial de pequeno porte em comparação com as fábricas de médio e grande porte, visto que as pequenas fábricas têm menor capacidade de produção e isso requer maior consumo de energia, em função da baixa escala de produção (EIDE, 2002). Análise de Hospido *et al.* (2003) baseada em aspectos ambientais espanhóis com foco em embalagens e gastos de energia nas caldeiras na produção industrial de leite. A combustão do combustível utilizado nas caldeiras foi responsável por cerca de 60% das emissões, já as embalagens contribuíram com aproximadamente 84% das emissões.

Segundo González-Garcia (2013b), devido à grande demanda de leite para consumo e à relevância dos impactos ambientais gerados pela indústria de laticínios, há a necessidade de investigar e determinar as consequências ambientais de sua produção. Uma dificuldade identificada no trabalho de pesquisa é que muitos resultados de ACV lácteos publicados usam diferentes unidades funcionais, limites, entre outros, o que dificulta a comparação (MENESES *et al.*, 2012). Em outro estudo analisaram a produção de leite UHT em Portugal, com base no estudo de diferentes tipos de leite, nomeadamente leite integral, meio-gordo, desnatado e achocolatado. Concluíram que o maior impacto no segmento fabril se deve às altas exigências de energia devido às altas temperaturas exigidas para a produção das embalagens *Tetra-Pak* (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2012).

Outra importante pesquisa realizada em Portugal foi a de Castanheira *et al.* (2010), que analisaram o desempenho ambiental de uma típica exploração leiteira portuguesa, detalhando a exploração leiteira, por meio da silagem de milho e azevém, palha, ração concentrada, combustível e eletricidade. Os resultados mostraram que os maiores impactos aquáticos e atmosféricos foram decorrentes da produção de rações concentradas. González-Garcia *et al.* (2012b) estudaram o desempenho ambiental de uma fábrica de queijo curado português e a utilização de soro de leite em pó. Como sugestões para reduzir o impacto causado, foram apontadas alternativas para reduzir o consumo de energia dentro da fábrica, como utilização combustíveis mais ecológicos no processo de tratamento térmico e caminhos mais sustentáveis, apontando que tais alterações não acarretariam aumentos significativos de custos para o empreendimento.

Em uma ACV do processo de produção do queijo minas brasileiro, comparando diretamente os métodos de produção tradicionais e industriais. Os resultados mostraram que o processo artesanal teve um impacto menor, principalmente em termos de energia, justificando esses resultados por não haver processo de pasteurização durante a produção e por haver menos refrigeração. O soro de leite também foi usado como alimentação para os animais para reduzir drasticamente o impacto ambiental (NIGRI *et al.*, 2012).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que os processos que ocorrem nas explorações leiteiras são de longe as mais poluentes de todas as categorias de impacto, pode-se concluir no futuro que mais importante do que analisar os produtos é a avaliação do ciclo de vida das mais diversas culturas de alimentação animal, a fim de produzir usuários tomem decisões com maior

consciência para minimizar o impacto ambiental. Outras melhorias possíveis incluem o aumento da produtividade dos rebanhos leiteiros, o encurtamento assim das emissões por animal, e o planejamento prévio da distribuição de fertilizantes e da gestão do estrume, o que pode ajudar a reduzir as emissões totais.

De forma complementar aos resultados obtidos, sugere-se apontamentos para pesquisas futuras: ampliar o horizonte do berço ao túmulo (da extração dos insumos até a disposição final), replicar o estudo com ampliação das fronteiras (com a inclusão dos efluentes e águas residuais), efetuar outros estudos de ACV para diferentes produtos lácteos em comparação de impactos entre produtos na mesma categoria, analisar a produção de queijo em nível regional, para melhor caracterização em função das diferenças nos sistemas de produção, utilizar maior número de laticínios para mensurar o desempenho ambiental.

## REFERÊNCIAS

ABÍN, R.; LACA, A.; LACA, A.; DÍAZ, M. Avaliação ambiental da produção intensiva de ovos um estudo de caso espanhol. **Revista de Produção Mais Limpa**, v.179, n.179, p.160-168, 2018.

ASSIES, J.A. Introduction paper to SETAC-Europe workshop on environmental life cycle analysis of products. In *Life-Cycle Assessment, Proceedings of a SETAC-Europe workshop on Environmental Life Cycle Assessment of Products*, december 2-3, 1991. **Leiden; SETAC-Europe**, Brussels, Belgium, 1992.

BASSET-MENS, C.; KELLIHER, F.M.; LEDGARD, S., COX, N. Uncertainty of global warming potential for milk production on a New Zealand farm and implications for decision making. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, n.14, p.630–638, 2009a.

BASSET-MENS, C.; LEDGARD, S.; BOYES, M. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. **Ecological Economics**, v.68, n.6, p.1615-1625, 2009b.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A.M. **The Hitch Hiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application**. v.1, Studentlitteratur AB, 2004.

BERLESE, M.; CORAZZIN, M.; BOVOLENTA, S. Environmental sustainability assessment of buffalo mozzarella cheese production chain: A scenario analysis. **Journal of Cleaner Production**, v.238, p.117922, 2019.

BERLIN, J. Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. **International Dairy Journal**, v.12, n.11, p.939-953, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 364, de 04 de setembro de 1997**. Aprova os Regulamentos Técnicos Para Fixação de Identidade e Qualidade de Queijo Mozzarella (Muzzarella ou Mussarela), 1997. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/inspleite/files/2016/03/Portaria-n%C2%B0-364-de-4-de-setembro-de-1997.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2023.

CABRAL, C.F.S.; VEIGA, L.B.E.; ARAÚJO, M.G.; QUITERIO, S.L. A Avaliação do ciclo de vida como ferramenta de sustentabilidade na produção do queijo de cabra. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v.2, n.3, p.94-120, 2021.

CANELLADA, F.; LACA, A.; LACA, A.; DÍAZ, M. Environmental impact of cheese production: A case study of a small-scale factory in southern Europe and global overview of carbon footprint. **Science of The Total Environment**, v.635, n.635, p.167–177, 2018.

Recebido: mar./2024.

Publicado: mar./2024.

CASEY, J.W.; HOLDEN, N.M. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. **Agricultural Systems**, v.86, n.1, p.97-114, 2005.

CASTANHEIRA, É.G. **Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos lácteos fabricados em Portugal continental**. Programa de Pós-Graduação em Energia e Gestão do Ambiente Universidade de Aveiro, Dpto de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 2008. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/573/1/2008001740.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2023.

CASTANHEIRA, É.G.; DIAS, A.C.; ARROJA, L.; AMARO, R. The environmental performance of milk production on a typical Portuguese dairy farm. **Agricultural Systems**, v.103, n.7, p.498-507, 2010.

CEDERBERG, C., MATTSON, B. Life cycle assessment of milk production- a comparison of conventional and organic farming. **Journal Clean Production**, n.8, p.49-60, 2000.

CEDERBERG, C., STADIG, M. System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.8, n.6, p.350-356, 2003.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**: 1. ed., Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

DALLA RIVA, A.; BUREK, J.; KIM, D.; THOMA, G.; CASSANDRO, M.; DE MARCHI, M. Environmental life cycle assessment of Italian mozzarella cheese: Hotspots and improvement opportunities. **Journal of Dairy Science**, v.100, n.10, p.7933-7952, 2017.

DE BOER, I.J. Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. **Livestock Production Science**, n.80, p.69-77, 2003

DE LÉIS, C.M.; CHERUBINI, E.; RUVIARO, C.F.; PRUDÊNCIO DA SILVA, V.; DO NASCIMENTO LAMPERT, V.; SPIES, A.; SOARES, S.R. Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.20, p.44-60, 2014.

DJEKIC, I.; MIOCINOVIC, J.; TOMASEVIC, I.; SMIGIC, N.; TOMIC, N. Environmental life-cycle assessment of various dairy products. **Journal of Cleaner Production**, v.68, n.68, p.64-72, 2014.

EIDE, M.H. Life Cycle Assessment (LCA) of industrial milk production. **The international Journal of Life Cycle Assessment**, v.7, n.2, p.115-126, 2002.

ELCOCK, D. **Life-cycle thinking for the oil and gas exploration and production industry**. US Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory, 2007. Disponível em: [http://www.evs.anl.gov/pub/dsp\\_detail.cfm?PubID=2154](http://www.evs.anl.gov/pub/dsp_detail.cfm?PubID=2154). Acesso em: 14 fevereiro de 2023.

FANTIN, V.; BUTTOL, P.; PERGREFFI, R.; MASONI, P. Life cycle assessment of Italian high-quality milk production. A comparison with an EPD study. **Journal of Cleaner Production**, n.28, p.150-159, 2012.

FINNEGAN, W.; GOGGINS, J.; CLIFFORD E.; ZHAN, X. Global Warming Potential Associated with Dairy Products in the Republic of Ireland. **Journal of Cleaner Production**, v.163, n.163, p.263-273, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615011142>. Acesso em: 20 mar. 2023.

FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M.Z.; EKVALL, T.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A.; PENNINGTON, D.; SUH, S. Recent developments in Life Cycle. **Assessment Journal of Environmental Management**, v.91, n.1, p.1-21, 2009.

FLYSJÖ, A.; HENRIKSSON, M.; CEDERBERG, C.; LEDGARD, S.; ENGLUND, J.E. The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. **Agricultural Systems**, v.104, n.6, p.459–69, 2011.

GASPAR, J.F.P. **Análise energética do ciclo de vida de produtos frutícolas**, 2016. 109p. (Tese de Doutorado em Engenharia e Gestão Industrial). Disponível em: [https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/7813/1/5150\\_10202.pdf](https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/7813/1/5150_10202.pdf). Acesso em: 17 fev. 2023.

GHINEA, C.; LEAHU, A. Life cycle assessment of sheep cheese production in a small dairy factory from Romanian rural area. **Environmental Science and Pollution Research**, v.30, n.3, p.6986-7004, 2023.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; CASTANHEIRA, É.G.; DIAS, A.C.; ARROJA, L. Environmental life cycle assessment of a dairy product: the yoghurt. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.18, n.4, p.796-811, 2013a.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; HOSPIDO, A.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G.; ARROJA, L. Avaliação ambiental do ciclo de vida de um queijo galego: San Simon da Costa. **Journal of Cleaner Production**, v.52, n.3, p.253-262, 2013b.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; CASTANHEIRA, É.G.; DIAS, A.C.; ARROJA, L. Using life cycle assessment methodology to assess UHT milk production in Portugal. **Science of the Total Environment**, v.442, n.1, p.225-234, 2013c.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; CASTANHEIRA, É.G.; DIAS, A.C.; ARROJA, L. Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill. **Journal of Cleaner Production**, v.41, n.1, p.65-73, 2013d.

GUINÉE, J.B.; UDO DE HAES, H.A.; HUPPES, G. Quantitative life cycle assessment of products 1: Goal definition and inventory. **Journal of Cleaner Production**, v.1, n.1, p.3-13, 1993.

GUINÉE, J.H. **Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. 7. ed., Netherlands: Springer Netherlands, v.7, 2002.

GUINÉE, J.B.; HEIJUNGS, H.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P; BUONAMICI, R. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. **Environmental Science and Technology**, v.45, n.1, p.90-96, 2011.

HAAS, G.; WETTERICH, F.; KÖPKE, U. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.83, n.3, p.43-53, 2001.

HAUSCHILD, M.; WENZEL, H. Environmental Assessment of products. v.1: Methodology, tools and case studies in product development - v.2: **Scientific background**; Chapman & Hall: London, U.K., 1998. Disponível em: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/environmental-assessment-of-products-volume-1-methodology-tools-a>. Acesso em: 02 abr 2023.

HEISKANEN, E. Institucionalização do Pensamento do Ciclo de Vida no Discurso Cotidiano dos Atores do Mercado. **Journal of Industrial Ecology**, v.4, n.4, p.31-45, 2000.



HINZ, R.T.P. **Aspectos e impactos ambientais associados ao processo de injeção da blenda PPO/PSAI através do inventário do ciclo de vida**, 2007. 195p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PGCEM). Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2007.

HOSPIDO, A.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G. Simplified life cycle assessment of Galician milk production. **International Dairy Journal**, v.13, n.10, p.783-796, 2003.

HOSPIDO, A.; SONESSON, U. The environmental impact of mastitis: a case study of dairy herds. **Science of the Total Environment**, v.343, n.1/3, p.71-82, 2005.

ISO 14040. **International Standard. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework**. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2006. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/37456.html>. Acesso em: 25 mai. 2023.

ISO. **International Organization for Standardization**, 2006. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/37456.html>. Acesso em: 25 jan. 2023.

JESWANI, H.K.; AZAPAGIC, A.; SCHEPELMANN, P.; RITTHOFF, M. Options for broadening and deepening the LCA approaches. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.2, p.120-127, 2010.

KIM, D.; THOMAS, G.; NUTTER, D.; MILANI, F.; ULRICH, R.; NORRIS, G. Avaliação do ciclo de vida da produção de queijo e soro de leite nos EUA. **O Jornal Internacional de Avaliação do Ciclo de Vida**, v.18, n.5, p.1019-1035, 2013.

KLOPFER, W. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida dos produtos: (com comentários de Helias A. Udo de Haes, p.95). **O Jornal Internacional de Avaliação do Ciclo de Vida**, v.13, n.3, p.89-95, 2008.

MENESES, M.; PASQUALINO, J.; CASTELLS, F. Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data. **Journal of Environmental Management**, v.107, n.3, p.76-83, 2012.

NIGRI, E.M.; ROMEIRO FILHO, E.; ROCHA, S.D.F. **Cimento tipo Portland: uma aplicação da análise do ciclo de vida simplificada**, 2009. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, Bahia. Disponível em: [https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2009\\_TN\\_STP\\_110\\_729\\_14630.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STP_110_729_14630.pdf). Acesso em: 25 mai. 2023.

NIGRI, E.M. **Análise Comparativa do Ciclo de Vida de Produtos Alimentícios Industriais e Artesanais da Culinária Mineira**. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia, 2012. Disponível em: [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOSTHJZY/an\\_lise\\_comparativa\\_do\\_ciclo\\_de\\_vida\\_de\\_produtos\\_aliment\\_cio.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOSTHJZY/an_lise_comparativa_do_ciclo_de_vida_de_produtos_aliment_cio.pdf?sequence=1). Acesso: 28 mar. 2023.

NUNES, O.S.; GASPAR, P.D.; NUNES, J.; QUINTEIRO, P.; DIAS, AC.; GODINA, R. Life-Cycle Assessment of Dairy Products - Case Study of Regional Cheese Produced in Portugal **Processes**, v.8, n.9, p.1182-2002, 2020.

NUNES, O.S. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos Lácteos**, 2018. 122p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial). Covilhã, Portugal, 2018.

PALMIERI, N.; FORLEO, M.B.; SALIMEI, E. Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study. **Journal of Cleaner Production**, v.140, n.2, p.881-889, 2017.

PELLEGRINO, G.Q.; ASSAD, E.D.; MARIN, F.R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, v.8, n.1, p.139-162, 2007.

PHETTEPLACE, H.W.; JOHNSON, D.E.; SEIDL, A.F. Greenhouse gas emissions from simulated beef and dairy livestock systems in the United States. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.60, n.2, p.99-102, 2001.

PIEKARSKI, C.M.; DA LUZ, L.M.; ZOCHE, L.; DE FRANCISCO, A.C. Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. **Revista Gestão Industrial**, v.8, n.3, p.1-19, 2012.

RIBEIRO, P.H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**, 2009. 375p. (Tese de Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, 2009.

ROY, P.; NEI, D.; ORIKASA, T.; XU, Q.; OKADAME, H.; NAKAMURA, N.; SHIINA, T. Uma revisão da avaliação do ciclo de vida (LCA) de alguns produtos alimentícios. **Journal of Food Engineering**, v.90, n.1, p.1-10, 2009.

RÖÖS, E.; PATEL, M.; SPÅNGBERG, J. Producing oat drink or cow's milk on a Swedish farm - environmental impacts considering the service of grazing, the opportunity cost of land and the demand for beef and protein. **Agricultural Systems**, v.142, n.1, p.23-32, 2016.

SANTOS, A.P.L.; FERNANDES, D.S. Análise do impacto ambiental gerado no ciclo de vida de um tecido de malha. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, v.4, n.7, p.1-17, 2012.

SANTOS, H.C.M.; MARANDUBA, H.L.; DE ALMEIDA NETO, J.A.; RODRIGUES, L.B. Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v.24, n.4, p.3470-3482, 2016.

SANTOS JR, H.C.; MARANDUBA, H.L.; NETO, J.A.A.; RODRIGUES, L.B. Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. **Environmental Science Pollution Research International**, v.24, n.4, p.3470-3482, 2017.

SEÓ, H.L.S.; FILHO, L.C.P.M.; RUVIARO.C.F.; LÉIS.C.M. Avaliação do Ciclo de Vida na bovinocultura leiteira e as oportunidades ao Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.2, p.221-237, 2017.

SUNDSTROM, G. Investigation of energy requirements from raw material to garbage treatment for four Swedish beer and packaging alternatives; Malmo", Sweden, 1971. (6) Boustead, I. Resource implications with particular reference to energy requirements for glass and plastic milk bottles. **International Dairy Journal Technology**, v.27, n.3, p.159-165, 1974.

THOMA, G.; POPP, J.; NUTTER, D.; SHONNARD, D.; ULRICH, R.; MATLOCK, M.; KIM, D.S.; NEIDERMAN, Z.; KEMPER, N.; EAST, C.; ADOM, F. Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. **International Dairy Journal**, v.31, n.1, p.3-14, 2013a.

THOMA, G.; JOLLIET, O.; WANG, Y. A biophysical approach to allocation of life cycle environmental burdens for fluid milk supply chain analysis. **International Dairy Journal**, v.31, n.2, p.41-49, 2013b.

THOMASSEN, M.A.; DE BOER, I.J.M. Evaluation of indicators to assess the environmental impact of dairy production systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.111, n.1-4, p.185-199, 2005.

THOMASSEN, M.A.; DALGAARD, R.; HEIJUNGS, R.; DE BOER, I.J.M. Attributional and consequential LCA of milk production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, n.1, p.339–349, 2008a.

THOMASSEN, M.A.; VAN CALKER, K.J.; SMITS, M.C.J.; IEPEMA, G.L.; DE BOER, I.J.M. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. **Agricultural Systems**, v.96, n.1-3, p.95–107, 2008b.

VALT, R.B.G. **Análise do ciclo de vida de embalagens pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. 2004. 193p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

VAN DER WERF, H. M., KANYARUSHOKI, C., CORSON, M. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v.90, n.11, p.3643-3652, 2009.

VAN MIDDELAAR, C.E.; BERENTSEN, P.B.M.; DOLMAN, M.A.; DE BOER, I.J.M. Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. **Livestock Science**, v.139, n.1/2, p.91-99, 2011.