## **Artigo Técnico**

# Avaliação comparativa da pegada de carbono de margarina e manteiga produzidas no Sul do Brasil

Comparative evaluation of the carbon footprint from margarine and butter production in southern Brazil

Scheilla Campos<sup>1\*</sup> , Regina Weinschutz<sup>1</sup> , Edivan Cherubini<sup>1</sup> , Alvaro Luiz Mathias<sup>1</sup>

#### **RESUMO**

A avaliação de ciclo de vida (ACV) é uma técnica de estimativa de impactos ambientais, como emissão de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>eg), para geração de produto ou realização de processo. O objetivo deste estudo foi estabelecer a pegada de carbono para a produção da margarina e da manteiga com uso das normas ISO e PAS aplicadas a uma empresa de alimentos localizada na região Sul do Brasil desde a etapa do campo até a sua forma embalada com unidade funcional de 500 g para distribuição. Três cenários foram abordados para a margarina (óleos de soja provenientes do Sul e do Centro-Oeste com e sem desmatamento por queimada) e dois para manteiga (com alocação por massa e econômica). A modelagem foi realizada com dados primários de produção agrícola e da empresa e secundários do ecoinvent®. A pegada da manteiga com alocação econômica (2,91 kg de CO,eq) foi maior do que a da margarina produzida com soja da mesma região (1,32 kg de CO<sub>2</sub>eq). Entretanto, esse coproduto autônomo da indústria de laticínio requer alocação mássica para evitar supervalorização, sendo de fato a menor pegada (0,63 kg de CO,eq). A utilização de grãos de soja do Centro-Oeste aumentou a pegada da margarina (1,58 kg de CO<sub>2</sub>eq), tendo sido muito intensificado quando empregado desmatamento por queimada (2,69 kg de CO<sub>2</sub>eq). A produção de leite foi o fator deletério preponderante para a manteiga. Para a margarina, houve duas situações distintas, sua fabricação quando se usa soja da mesma região ou a produção do grão quando este for proveniente de região distante desmatada por queimada.

**Palavras-chave:** pegada de carbono; avaliação do ciclo de vida; manteiga; margarina.

### **ABSTRACT**

Life Cycle Assessment is a technique for estimating environmental impacts, such as the emission of greenhouse gases (CO<sub>2</sub>eq), for manufacturing product or process realization. The objective of this study was to establish the carbon footprint for the production of margarine and butter using ISO and PAS standards applied to a food company, located in the southern region of Brazil, from the field stage to its packed form with a functional unit of 500 g for distribution. Three scenarios were addressed for margarine (soybean oil from the South and the Midwest with and without burned deforestation) and two for butter (with mass and economic allocation). The modeling was performed with primary data from the agricultural and industrial production, and secondary data from ecoinvent®. The economically allocated butter footprint (2.91 kg CO<sub>2</sub>eq) was higher than that of margarine produced with soybeans from the same region (1.32 kg CO<sub>2</sub>eq). However, this autonomous co-product of the dairy industry requires mass allocation to avoid overvaluation, being in fact the smallest footprint (0.63 kg CO<sub>2</sub>eq). The use of soybeans from the Midwest increased margarine' footprint (1.58 kg CO2eq) and was greatly intensified with burned deforestation (2.69 kg CO<sub>2</sub>eq). Milk production was the predominant deleterious factor for butter. For margarine there were two other distinct occasions, which were the manufacture when soy from the same region is used or the production with soybeans from a distant region deforested by burning

**Keywords:** carbon footprint; life cycle assessment; butter; margarine.

# INTRODUÇÃO

O gerenciamento da pegada de carbono na cadeia de produtos é uma etapa importante para o esforço de reduzir essas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e mitigar as mudanças climáticas (CARBON TRUST, 2006). Um importante critério que tem sido utilizado para avaliar a sustentabilidade ambiental da produção e distribuição de alimentos é a quantificação de

GEE, como o dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) (DREWNOWSKI *et al.*, 2015), que são gerados de modo significativo do campo até o consumo ou descarte (GARNETT, 2013; ROY *et al.*, 2009). Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, a agricultura é responsável por 10 a 12% da emissão global desses gases (SMITH *et al.*, 2014). A pecuária atinge 18% (SEJIAN *et al.*, 2015)

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná - Curitiba (PR), Brasil.

\*Autor correspondente: campos.scheilla@gmail.com

**Recebido:** 21/04/2017 - **Aceito:**09/10/2017 - **Reg. ABES:** 178908

devido a um efeito cascata em que se somam a necessidade de fertilizantes para plantações de grãos para a produção de ração, a fermentação entérica (SEJIAN *et al.*, 2015; TAN; TAN; KHOO, 2014), o uso da terra em si e o transporte da produção de grãos, principalmente de longas distâncias (PRUDÊNCIO DA SILVA *et al.*, 2010).

A comparação de pegada de carbono exige que seja feita a normalização por algum atributo do serviço ou do produto, como a massa, no entanto o impacto deve ser compartilhado quando há multifuncionalidade de processos, ou seja, quando mais de um produto é gerado paralelamente (COTRO, 2007). Ainda um subproduto alimentar pode não afetar a existência do outro, como é o caso da gordura excedente do mínimo exigido legalmente para ser comerciado como leite integral, semidesnatado ou desnatado. Nesse caso extremo, a gordura pode ser convertida em manteiga e comercializada com impacto muito reduzido. De outro modo, existem produtos que têm função concorrente e que podem ser avaliados comparativamente por avaliação de ciclo de vida (ACV), como são os casos da manteiga e da margarina, que são gorduras para espalhar no pão (tecnicamente denominadas de spread). Assim, a ACV também tem sido realizada para casos específicos, como manteiga (FINNEGAN et al., 2017a), leite (FLYSJÖ et al., 2011), leite em pó (FINNEGAN et al., 2017a), bife (FLYSJÖ et al., 2012) e também para comparação (FLYSJÖ et al., 2012; FINNEGAN et al., 2017a; FINNEGAN et al., 2017b). Para os produtos lácteos, a pegada de carbono tem sido o impacto mais estudado (FLYSJÖ et al., 2011), o que pode ser atribuído ao seu grande impacto na pecuária (SEJIAN et al., 2015), como já destacado.

Para viabilizar comparações, é necessário relacionar os efeitos deletérios decorrentes da produção ou de um processo específico com alguma característica do produto. Assim, a alocação é um método utilizado para dividir a carga ambiental de produtos com processos interligados no ciclo de vida, como ocorre com o queijo e o leite, o óleo diesel e a gasolina etc. (COTRO, 2007). A escolha do tipo de alocação de produtos lácteos varia muito: Nilsson et al. (2010) utilizaram alocação econômica; Flysjö, Thrane e Hermansen (2014) propuseram um método por peso de gordura e quantidade de proteína (relação de 1:1,4); e Djekic et al. (2014) adotaram uma combinação de alocação mássica e físico-química, que consiste em uma matriz de 11 diferentes produtos de uma indústria de laticínios e suas respectivas demandas, tais como água, eletricidade, combustível para energia térmica, detergentes alcalinos, detergentes ácidos e geração de efluentes, com base na proposta de Feitz et al. (2007). Logo, dependendo da seleção de alocação, os resultados de ACV podem gerar grandezas diferentes e, consequentemente, conclusões divergentes (GUINÉE, 1995). Por isso é difícil comparar resultados de diferentes estudos. Dependendo do objetivo e escopo do estudo, a alocação deve seguir as recomendações da ISO 14044 (ABNT, 2009b). Uma alocação adequada e consistente deve ser definida, e a expansão das fronteiras do sistema ou a desagregação dos processos em subprocessos devem ser evitadas (AZAPAGIC & CLIFT, 1999). Assim, a avalição comparativa de pegada de carbono para 500 g de cada produto foi feita por alocação econômica. A alocação mássica também foi utilizada para a manteiga, subproduto que não afeta a produção de leite.

Os softwares SimaPro® e Gabi® produzem estimativas similares (HERRMANN & MOLTESEN, 2015) e são os mais usados globalmente para realizar análises ambientais e influenciar a tomada de decisões (SPECK et al., 2015). Assim, a função Chain Management by Life Cycle Assessment for Impact Assessment (CML-IA), um método para avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), do software CMLCA, disponível no SimaPro® (CML, 2016), foi usado para a ACV da manteiga e margarina. O método CML-IA é orientado para o problema, no qual a participação de cada fluxo de processo é contabilizada com um conjunto de fatores que causam diferentes impactos ambientais, como aquecimento global (RENOU et al., 2008). Essa rotina foi alimentada com informações obtidas diretamente de dados brasileiros e do ecoinvent<sup>®</sup>, que é a base de dados do inventário de ciclo de vida mais utilizada no mundo (ECOINVENT, 2015) e contempla dados de produtos e serviços como energia, transporte, materiais de construção, químicos, papéis, plástico, tratamento de resíduos e outros (WEIDEMA et al., 2009).

Neste estudo, a ACV da produção de manteiga e margarina foi realizada especificamente para condições da região Sul brasileira. Os efeitos da proximidade do local (Sul e Centro-Oeste) de produção de soja, principal matéria-prima de obtenção de óleo para a produção de margarina, e do uso da queimada na região distante (Centro-Oeste) foram avaliados.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi comparar o impacto deletério ambiental da produção de manteiga com a de margarina, discriminando a origem do óleo de soja para sua produção, bem como o efeito do uso da alocação mássica para a manteiga no resultado da pegada.

## **METODOLOGIA**

As ACV para margarina e para manteiga foram baseadas na Norma Brasileira (NBR) ISO 14040 (ABNT, 2009a), que define os princípios e a estrutura, na NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), que estabelece requisitos e orientações, e na PAS 2050 (BSI, 2008), que determina as especificações para a avaliação das emissões de GEE no ciclo de vida de bens e serviços. A margarina e a manteiga são gorduras usadas como *spreads* (produto para espalhar no pão) ou substitutas do óleo na culinária. A unidade funcional foi definida como 500 g de produto embalado e disponibilizado em condicionamento final, e a fronteira foi adotada do berço (produção agrícola) ao portão do Centro de Distribuição (Figura 1), ou seja, dados desde a produção das suas principais matérias-primas até os

produtos embalados, armazenados e disponíveis no centro de distribuição para posterior encaminhamento ao ponto de venda.

Visitas com entrevistas a funcionários das unidades fabris de uma empresa nacional foram realizadas em 2014 para mapeamento dos sistemas de processos existentes na fronteira delimitada e suas entradas e saídas de insumos (Tabela 1). Dados primários da etapa agropecuária (produção de soja para margarina e produção de leite para manteiga) de Prudêncio da Silva (2011) e Léis *et al.* (2015) foram usados para entradas (ração, silagem, pastagem, grãos, energia, fertilizantes, combustíveis e transportes) e de Léis (2013) e Léis *et al.* (2015) para saídas (produção de leite, coprodutos como carne e emissões). A etapa agropecuária de soja para margarina abrangeu a ocupação de terra, o uso de fertilizantes químicos e orgânicos, o transporte e as emissões causadas no ar, na água e no solo (PRUDÊNCIO DA SILVA *et al.*, 2010; PRUDÊNCIO DA SILVA, 2011). Os demais dados eram secundários, sendo da base de dados do *software* ecoinvent<sup>®</sup>. Alguns dados primários, como vitaminas e ácido cítrico, não foram considerados por não

comporem a base de dados *ecoinvent*®, o que é considerado aceitável, pois não superam 1% da quantidade, conforme a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b). Os processos de higienização e produtos das Estações de Tratamento de Efluentes também não foram obtidos e foi admitido que fossem similares, o que não inviabiliza a aplicação da ACV.

A obtenção de margarina demanda diversos processos elementares: produção e transporte dos grãos de soja; extração e refinamento de óleos; produção de margarinas; e transporte dos materiais de embalagens, ingredientes e demais entradas e saídas até o produto disponibilizado no centro de distribuição. Três cenários de ACV foram abordados para a produção da margarina: grãos de soja do Sul (MAR-SUL) e do Centro-Oeste com demanda de desmatamento por queimada (MAR-COD) ou sem (MAR-SED). Os dois últimos cenários contemplam emissões oriundas do desmatamento de floresta amazônica e de cerrado (PRUDÊNCIO DA SILVA *et al.*, 2010; PRUDÊNCIO DA SILVA, 2011). A produção da manteiga abrange processos elementares de produção de leite, transporte do leite e dos principais materiais de

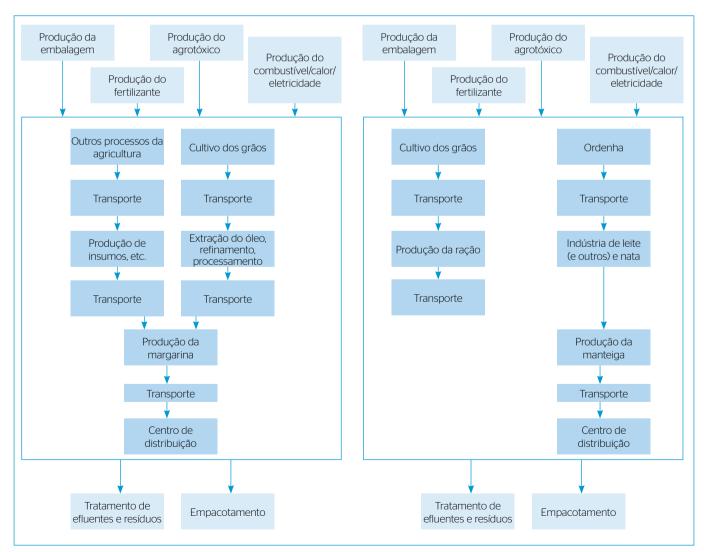


Figura 1 - Fronteiras entre o berço (produção agrícola) e o portão do centro de distribuição.

embalagem, produção de laticínios e disposição final. A ACV da produção da manteiga assumiu a origem do leite na cidade de Castro, maior produtora do Estado do Paraná (MILKPOINT, 2015). A produção do leite *in natura* foi assumida como de sistema de ordenha semiconfinada por ser o mais comum dentre os sistemas dos leites recebidos pela

**Tabela 1 -** Dados primários de entrada e saída de produção de margarina e de manteiga.

Fluxo	Margarina	Manteiga	
Entradas	Grão de soja: 1,0-2,0 kg	Água: 1,0-3,0 kg	
	Energia elétrica: 0,03-0,04 kwh	Energia elétrica: 0,08-0,09 kwh	
	Água: 0,09-0,1 kg	Vapor: 0,1-0,2 kg Leite da fazenda: 10,00-15,00 kg	
	Vapor: 0,0004-0,0005 kg		
	Óleos vegetais: 0,3-0,5 kg	Cloreto de sódio: 0,01-0,02 kg	
	Nitrogênio: 2,2-2,3 kg	Polipropileno (embalagem): 0,01-0,02	
	Metilato de sódio: 0,00006- 0,00007 kg	kg	
	Ácido fosfórico: 0,0001-0,001 kg	Papelão (empacotamento): 0,01-0,02	
	Hidrogênio: 0,10-0,20 kg	kg	
	Leticina de soja: 0,001-0,005 kg		
	Cloreto de sódio: 0,001-0,009 kg		
	Soro de leite: 0,001-0,009 kg		
	EDTA: 0,00002-0,00003 kg		
	Benzoato de sódio e sorbato de potássio: 0,0003-0,0004 kg		
	BHT e TBHQ: 0,00001- 0,00008 kg		
	Terra ativada: 0,0013-0,0014 kg		
	Terra filtrante: 0,00007- 0,00008 kg		
	Terra clarificante: 0,00015- 0,00016 kg		
	Níquel: 0,00002-0,00003kg		
	Hexano: 0,00 -0,004		
	Polipropileno (embalagem): 0,01-0,02 kg		
	Papelão (empacotamento): 0,01-0,02 kg		
Saídas	DQO: 0,0004-0,0005 kg	DQO: 0,00007-0,00008 kg	
	DBO: 0,0001-0,0002 kg	DBO: 0,0001-0,0002 kg	
	Óleos e graxas: 0,00002- 0,00003 kg	Óleos e graxas: 0,00008- 0,00009 kg	
	Nitrogênio total: 0,00001- 0,00002 kg	Nitrogênio total: 0,001-0,002 kg Metano: 0,00007-0,00008 kg	
	Hexano: 0,003-0,004 kg		

EDTA: ácido etilenodiamino tetra-acético; BHT: hidroxitolueno butilado; TBHQ: terc-Butil-hidroquinona; DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquimica de oxigênio.

unidade fabril em estudo. Na fábrica de laticínios, única desse sistema, o leite *in natura* é transformado em leite desnatado, leitelho e manteiga.

As fronteiras da ACV foram delimitadas pelos transportes com menor percurso das matérias-primas agropecuárias e dos demais insumos desde a sua última origem. No caso da cadeia da margarina, havia uma fábrica intermediária para produção de óleos e depois seguia à de produção de margarina, o que não prejudica a ACV. Do mesmo modo, as demais distâncias dos outros insumos aos processos fabris foram também consideradas na ACV (Tabela 2).

A alocação mássica também foi realizada na produção da manteiga porque a nata do leite *in natura* (2.244 kg) é removida para produzir

**Tabela 2 -** Dados primários dos transportes dos insumos utilizados na etapa de produção da margarina e manteiga.

Margarina			Manteiga		
Óleos vegetais	3.4048	km	Sal	495	km
Acido cítrico	441	km	Pote	145	km
Nitrogênio	89,9	km	Tampa do pote	526	km
Antioxidante BHT	466	km	Estampa	145	km
Antioxidante TBHT	408	km	Caixa de papelão	145	km
Ácido fosfórico	440	km	Filme strech	2.355	km
Soda cáustica	238	km	Chapa de papelão	503	km
Terra ativada	528	km	Leite	23,4	km
Terra filtrante	455	km			
Terra clarificante sílica	408	km			
Metilato de sódio	431	km			
Hidrogênio supersseco	514	km			
Catalisador de níquel	469	km			
Vitamina	495	km			
Lecitina de soja	743	km			
Soro de leite em pó	1.127	km			
Emulsificantes	434	km			
Conservantes	466	km			
EDTA	469	km			
Aroma	434	km			
Beta caroteno	441	km			
Ácido cítrico anidro	441	km			
Cola da caixa	448	km			
Tampa do pote	87,3	km			
Caixa de papelão	390	km			
Filme strech	2.348	km			
Selo do pote	859	km			
Soja do Sul	430	km			
Hexano	464	km			

BHT: hidroxitolueno butilado; TBHQ: terc-Butil-hidroquinona; EDTA: ácido etilenodiamino tetra-acético.

leite desnatado (2.033 kg ou 90,60%) sem prejudicar sua existência e processada para produzir manteiga (100 kg ou 4,46%) e leitelho (111 kg ou 4,95%). A alocação econômica da manteiga considerou os preços ao cliente: manteiga, de R\$ 11,86/kg (US\$ 1 = R\$ 2,998); leite, de R\$ 2,07/kg; e leitelho, de R\$ 0,04/kg. Logo, em termos monetários, essa proporcão é de 77,95% para leite desnatado, 21,97% para manteiga e 0,08% para leitelho. Do mesmo modo, a indústria de extração do óleo de soja (R\$ 1.380,00/t) para a produção da margarina produz simultaneamente farelo (R\$ 500,00/t) e casca de soja (R\$ 180,00/t). De acordo com informações industriais, a representatividade econômica era de 59,71% para o farelo, 38,24% para o óleo e 1,05% para a casca. Assim, as alocações mássica (MAN-MAS) e econômica (MAN-ECON) foram utilizadas para a manteiga e a econômica das margarinas produzidas no Sul com soja do próprio estado (MAR-SUL) e no Centro-Oeste com desmatamento por queimada (MAR-COD) ou não (MAR-SED) foram utilizadas. O fator Global Warming Potential 100 dos GEE foi usado no cálculo da pegada de carbono (potencial de aquecimento global), conforme prevê a norma PAS 2050:2008 (BSI, 2008) e o Relatório do Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) AR4, de 2007 (IPCC, 2007).

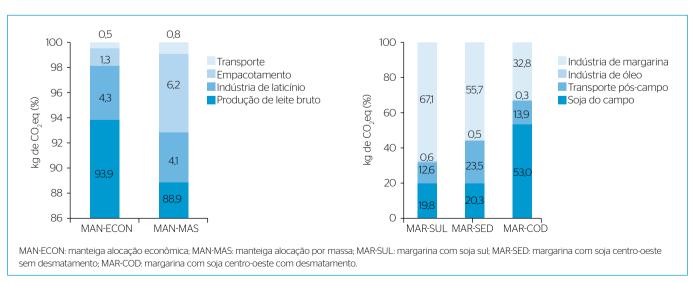
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Existe um número limitado de artigos disponíveis que discutem ACV de manteiga, entre os quais abordam pegada de carbono (FINNEGAN et al., 2017a), e as fronteiras geralmente compreendem o subsistema industrial. A deficiência de estudos sobre margarina foi ainda maior. Dois casos com situações de multifuncionalidade foram identificados nos sistemas de produtos neste estudo de afirmação comparativa de pegada de carbono. A produção da manteiga a partir de leite in natura também gera leite desnatado e leitelho, enquanto a da margarina, que demanda extração prévia do óleo de grão de soja, também gera farelo

e casca, o que divide a pegada entre os diferentes produtos (FLYSJÖ *et al.*, 2011) e deve ser analisado com cautela.

A fase da agricultura para produtos alimentares é a de maior impacto negativo (ROY et al., 2009) e tem sido relatada especificamente para produtos de laticínios (FLYSJÖ; THRANE; HERMANSEN, 2014). Esse fenômeno foi observado para a produção do leite in natura na Região Sul do Brasil, sendo a maior pegada de carbono nos dois tipos de alocação (Figura 2, à esquerda). A alocação econômica (93,9%) é levemente inferior à relatada para a indústria de laticínios da República da Irlanda (95,3%) (FINNEGAN et al., 2017b) e foi maior do que a mássica (88,9%). Essa pegada de carbono é preponderantemente causada pelo metano, óxido nitroso e gás carbônico na produção de leite in natura (FLYSJÖ, 2012) e ocorre principalmente na alimentação do gado (48% segundo LÉIS et al., 2015; ou 26,4% segundo TAN; TAN; KHOO, 2014) e na fermentação entérica (37% segundo LÉIS et al., 2015; ou 44,7% segundo TAN; TAN; KHOO, 2014) em sistemas semiconfinados (LÉIS et al., 2015). O sistema entérico bovino é um fator dominante (TAN; TAN; KHOO, 2014). Independentemente do tipo de alocação, o efeito da fase de industrialização foi similar, mas as etapas de transporte e de embalamento foram muito maiores para alocação mássica. O transporte teve um efeito mínimo no impacto global de produção de manteiga (0,5 a 0,8%) devido às curtas distâncias demandadas (Tabela 2).

A produção de margarina (Figura 2, à direita) com soja distante e sem desmatamento por queimada (MAR-SED) produziu impacto pouco superior ao da com menor proximidade (MAR-SUL). No entanto, o desmatamento por queimada (MAR-COD) comprovou o exacerbado efeito deletério desse tipo de expansão agrícola com desmatamento de floresta amazônica e de cerrado (PRUDÊNCIO DA SILVA *et al.*, 2010; PRUDÊNCIO DA SILVA, 2011) que tem de ser suprimido. Esse efeito foi tão intenso que fez com que as importâncias centesimais do transporte da soja produzido na proximidade (MAR-SUL) ou distante da indústria (MAR-COD) fossem similares,

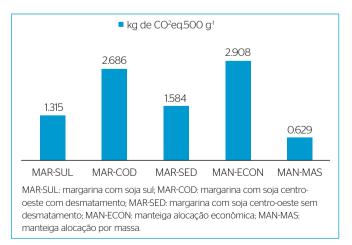


**Figura 2 -** Composição percentual das principais etapas emissoras no ciclo de vida das manteigas com alocações mássica e econômica e das margarinas do Sul ou Centro-Oeste com desmatamento por queimada ou sem.

bem como minimiza o impacto industrial, o que também pode ser visto com menos intensidade para MAR-SED. A pegada de carbono da indústria de óleo é insignificante, variando de 0,3 a 0,6% do kg de CO<sub>3</sub>eq global.

A alocação econômica tem sido frequentemente utilizada quando o produto apresenta maior valor global, ou seja, é responsável pela existência da indústria. Caso contrário, outras propriedades têm sido aplicadas, com destaque para a massa (FLYSJÖ; THRANE; HERMANSEN, 2014). Por exemplo, a manteiga apresenta maior pegada (20,69-21,30 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup> de produto) do que outros derivados: leite pasteurizado (1,25-1,67 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>), leite UHT (1,24-1,38 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>), iogurte (1,42-2,63 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>), creme de leite (3,52-4,53 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>) e queijo (6,73–9,47 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>). No entanto, sua contribuição relativa é inferior (5,67%) aos demais: leite pasteurizado (129,27%), leite UHT (23,45%), iogurte (41,72), creme de leite (9,16%) e queijo (29,13%) (DJEKIC et al., 2014). Isso comprova o efeito superestimado para uma comparação mássica direta. Portanto, o consumo de manteiga não deve ser inibido por questões ambientais, pois sua existência não limita a produção de leite para consumo humano. Em casos de multiprodutos como esse, nos quais o impacto real do subproduto é praticamente inexistente, o ideal é simular e apresentar os dados com as duas alocações.

A manteiga coexiste com outros produtos lácteos obtidos do leite *in natura* (FLYSJÖ; THRANE; HERMANSEN, 2014) e corresponde a cerca de 22% da composição monetária. Por isso, revelou menor pegada com alocação por massa (MAN-MAS, 0,63 kg de CO<sub>2</sub>eq.500 g<sup>-1</sup>, Figura 3; ou 1,26 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>) do que a econômica (MAN-ECO, 2,91 kg de CO<sub>2</sub>eq.500g<sup>-1</sup> ou 5,82 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>). As pegadas das manteigas produzidas na Alemanha (9,0 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup> para alocação econômica), na França (7,2 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>), no Reino Unido (9,6 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>) (NISSON *et al.*, 2010), na República da Irlanda (9,68 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup>) para alocação econômica) (FINNEGAN *et al.*, 2017b), na Dinamarca (8,18 kg CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup> para alocação de gordura e proteína)



**Figura 3** - Pegada de carbono para 500 g de margarina produzida no Sul ou Centro-Oeste em região desmatada com queimada ou sem e de manteiga com alocação econômica ou mássica.

(DJEKIC *et al.*, 2014) e na Sérvia (20,68–21,30 kg de CO<sub>2</sub>eq.kg<sup>-1</sup> para alocação mássica — físico-química) (DJEKIC *et al.*, 2014) revelaram valores superiores ao caso brasileiro. Apesar da mesma ordem de grandeza, esses dados revelam a complexidade de comparação por causa das diferentes opções de alocação. Apesar disso, a alocação mássica para a manteiga foi usada como referência de comparação à margarina de modo que se evite a superestimação de seu impacto.

A margarina produzida na mesma região que a manteiga — Sul do País (MAR-SUL) — provocou uma pegada adicional de 109% (Figura 3) com relação à manteiga com alocação mássica (MAN-MAS), o que não pode ser atribuído a diferenças de deslocamento de insumos, pois a maioria é produzida na mesma região, mas aos demais subconjuntos, como a produção. Assim, a industrialização da margarina (0,882 kg de CO<sub>2</sub>eq.500g<sup>-1</sup>) gera mais pegada do que a industrialização da manteiga, sendo 34 vezes maior que a MAN-MAS (0,026 kg de CO<sub>2</sub>eq.500g<sup>-1</sup>), e 7 vezes maior se comparada à MAN-ECON (0,126 kg de CO,eq.500g<sup>-1</sup>). Essa diferença pode ser atribuída às grandes contribuições globais devido ao uso de nitrogênio (47% da pegada industrial) e de hidrogênio (31% da pegada industrial). O subsistema "soja do campo" inclui seu transporte na indústria de óleo e margarina. Logo, o efeito do plantio da soja e transporte em áreas mais distantes para produção na Região Sul, como na região Centro-Oeste sem desmatamento (MAR-SED), produz maior pegada. Segundo Prudêncio da Silva et al. (2010), priorizar o transporte por trem ou rio pode ajudar a reduzir esse impacto. A pegada por expansão agrícola em região de floresta amazônica e de cerrado é maior (PRUDÊNCIO DA SILVA et al., 2010; PRUDÊNCIO DA SILVA, 2011), o que provou um efeito adicional de 0,412 kg de CO<sub>2</sub>eq.500 g<sup>-1</sup> a ser adicionado à embalagem de 500 g de margarina, similar ao relatado por McAlpine et al. (2009) e Prudêncio da Silva et al. (2010). Comparativamente à manteiga (MAN-MAS), o efeito adicional de pegada é de 109% (MAR-SUL), 152% (MAR-SED) e 327% (MAR-COD).

Sem considerar outros aspectos de seleção de um produto alimentar, como o nutricional, e desde que os insumos sejam provenientes da mesma região, pode-se afirmar que a manteiga é um alimento tipo *spread* mais favorável ao meio ambiente em relação à pegada de carbono por ser um subproduto, o que pode ser atribuído a diferenças na industrialização.

## **CONCLUSÕES**

O potencial de aquecimento global dos processos produtivos da margarina e da manteiga desde a produção de insumos agrícolas, aquisição de insumos complementares de fornecedores e processos elementares da produção até o centro de distribuição revelou uma pegada de carbono maior para a manteiga com alocação econômica do que para a margarina produzida no Sul brasileiro com óleo da mesma região. O transporte de soja da Região Centro-Oeste até o Sul para produção de óleo, matéria-prima para a produção prévia da margarina, aumenta

o impacto. A pegada de carbono atinge níveis extremamente elevados se a região agrícola produtora foi desmatada com queimada.

A alocação econômica tem sido recomendada para avaliação comparativa de impacto ambiental. Porém, esta não é a melhor opção no caso da manteiga, pois esse produto não representa o maior impacto econômico para a unidade fabril. Sendo um coproduto autônomo, não impede a existência do leite e sua comercialização, o que causa uma supervalorização dos efeitos deletérios ao meio ambiente na alocação econômica.

A pegada de carbono da manteiga é preponderantemente afetada pela produção de leite, seguida pela industrialização, pelo empacotamento e, com um impacto relativamente pequeno, pelo transporte. No caso da produção de margarina, o fator preponderante depende da origem da soja com expansão agrícola com uso de queimada. A fabricação de margarina (67,1%) é preponderante para a soja da Região Sul, sendo um pouco inferior (55,7%) para aquela produzida no Centro-Oeste sem desmatamento. A produção de soja nessa região de expansão agrícola com uso de queimada passa a ser preponderante (53,0%) para a produção da margarina,

o que desaconselha essa prática. Ainda, a pegada de carbono da indústria de óleo é insignificante (0,3 a 0,6%).

Por ser um subproduto da indústria do leite, a manteiga revelou ser mais favorável ao meio ambiente em relação à pegada de carbono do que a margarina ao se comparar os dois alimentos tipo *spread*, mesmo quando matérias-primas provêm da mesma região. Esse fato foi atribuído à emissão de nitrogênio e hidrogênio durante a produção da margarina. Atualmente, há pessoas que preferem consumir produtos que utilizam tecnologias limpas e uma parte do impacto ambiental causado por um determinado produto pode ser expressa pela pegada de carbono. Este estudo contribui para esse aspecto de decisão desde o berço até um ponto comum, a central de distribuição. Majoritariamente dados primários brasileiros foram utilizados.

Uma base completa de dados nacionais é necessária para substituir os relativos a outros países (*ecoinvent*®), principalmente no que se refere aos parâmetros de entrada (*inputs*) da fábrica de margarina. Para tal, há uma demanda urgente de se consolidar e expandir o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida.

## **REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2009a) *NBR ISO 14040*: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT.

\_\_\_\_\_. (2009b) *NBR ISO 14044:* Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT.

AZAPAGIC, A.; CLIFT, R. (1999) Allocation of environmental burdens in multiple-function systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 7, n. 2, p. 101-119. http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526(98)00046-8

BRITISH STANDARD INSTITUTE (BSI). (2008) Department for Environment, Food and Rural Affairs, Carbon Trust. *PAS 2050:2008* – *Specification for the assessment of life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. Londres: BSI.

CARBON TRUST. (2006) Carbon footprints in the supply chain: the next step for business. Reino Unido: Carbon Trust.

CML. (2016) Department of Industrial Ecology. CML-IA Characterisation Factors. Disponível em: <a href="http://www.cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html">http://www.cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html</a>». Acesso em: 10 jun. 2015.

COTRO, L. (Org.). (2007) Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão. Campinas: CETEA/ITAL.

DJEKIC, I.; MIOCINOVIC, J.; TOMASEVIC, I.; SMIGIC, N.; TOMIC, N. (2014) Environmental life-cycle assessment of various dairy products. *Journal of Cleaner Production*, v. 68, p. 64-72. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.054

DREWNOWSKI, A.; REHM, C.D.; MARTIN, A.; VERGER, E.O.; VOINNESSON, M.; IMBERT, P. (2015) Energy and nutrient density of foods in relation to their carbon footprint. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 101, n. 1, p. 184-191. https://doi.org/10.3945/ajcn.114.092486

ECOINVENT®. (2015) *About ecoinvent*. Disponível em: <a href="http://www.ecoinvent.org/about/about.html">http://www.ecoinvent.org/about/about.html</a>. Acesso em: 10 maio 2015.

FEITZ, A.J.; LUNDIE, S.; DENNIEN, G.; MORAIN, M.; JONES, M. (2007) Generation of an industry-specific physico-chemical allocation matrix application in the dairy industry and implications for systems analysis. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 12, n. 2, p. 109-117. https://doi.org/10.1065/lca2005.10.228

FINNEGAN, W.; GOGGINS, J.; CLIFFORD, E.; ZHAN, X. (2017a) Environmental impacts of milk powder and butter manufactured in the Republic of Ireland. *Science of the Total Environment*, v. 579, p. 159-168. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.237

FINNEGAN, W.; GOGGINS, J.; CLIFFORD, E.; ZHAN, X. (2017b) Global warming potential associated with dairy products in the Republic of Ireland. *Science of the Total Environment*, v. 163, p. 262-273. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.025

FLYSJÖ, A. (2012) Greenhouse gas emissions in milk and dairy product chains. improving the carbon footprint of dairy products. Tese (Doutorado em Science and Technology) - Department of Agroecology, Aarhus University.

FLYSJÖ, A.; CEDERBERG, C.; HENRIKSSON, M.; LEDGARD, S. (2012) The interaction between milk and beef production and emissions from land use change e critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner Production*, n. 28, p. 134-142. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.046

FLYSJÖ, A.; HENRIKSSON, M.; CEDERBERG, C.; LEDGARD, S.; ENGLUND, J.-E. (2011) The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems*, v. 104, n. 6, p. 459-469. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.03.003

FLYSJÖ, A.; THRANE, M.; HERMANSEN, E.J. (2014) Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy Industry. *International Dairy Journal*, n. 34, n. 1, p. 86-92. https://doi.org/10.1016/j.idairyi.2013.07.016

GARNETT, T. (2013) Food sustainability: problems, perspectives and solutions. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 72, n. 1, p. 29-39. https://doi.org/10.1017/S0029665112002947

GUINÉE, J. (1995) Development of a Methodology for the Environmental Life-Cycle Assessment of Products - with a case study on margarines. Tese (Doutorado) - Universidade de Leiden, Leiden.

HERRMANN, I.T.; MOLTESEN, A. (2015) Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? A comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production*, v. 86, p. 163-169. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2007) *Climate Change 2007:* The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK; Nova York: Cambridge University Press. 996 p.

LÉIS, C.M. (2013) Desempenho Ambiental de Três Sistemas de Produção de Leite no Sul do Brasil pela Abordagem da Avaliação do Ciclo de Vida. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LÉIS, C.M.; CHERUBINI, E.; RUVIARO, C.F.; SILVA JR., V.P. da; LAMPERT, V. N.; SPIES, A.; SOARES, S. R. (2015) Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. *International Journal of Life Cycle Assess*, v. 20, n. 1, p. 46-60. http://dx.doi.org/10.1007/s11367-014-0813-3

MCALPINE, C.A.; ETTER, A.; FEARNSIDE, P.M.; SEABROOK, L.; LAURANCE, W.F. (2009) Increasing world consumption of beef as a driver of regional and global change: A call for policy action based on evidence from Queensland (Australia), Colombia and Brazil. *Global Environmental Change*, v. 19, p. 21-33. http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.008

MILKPOINT. (2015) Levantamento top 100 2014. Disponível em: <a href="http://www.milkpoint.com.br/top100-2014-lp/">http://www.milkpoint.com.br/top100-2014-lp/</a>. Acesso em: 1º fev. 2015.

NILSSON, K.; FLYSJÖ, A.; DAVIS, J.; SIM, S.; UNGER, N.; BELL, S. (2010) Comparative life cycle assessment of margarine and butter consumed in the UK, Germany and France. *Life Cycle Assess*, v. 15, n. 9, p. 916-926. http://dx.doi.org/10.1007/s11367-010-0220-3

PRUDÊNCIO DA SILVA, V. (2011) Effects of intensity and scale of production on environmental impacts of poultry meat production chains: Life Cycle Assessment of French and Brazilian poultry production scenarios. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PRUDÊNCIO DA SILVA, V; VAN DER WERF, H.M.G.; SPIES, A.; SOARES, S.R. (2010) Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management*, v. 91, n. 9, p. 1831-1839. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.001

RENOU, S.; THOMAS, J.S.; AOUSTIN, E.; PONS, M.N. (2008) Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. *Journal of Cleaner Production*, v. 16, n. 10, p. 1098-1105. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.06.003

ROY, P.; NEI, D.; ORIKASA, T.; XU, Q.; OKADOME, H.; NAKAMURA, N.; SHIINA, T. (2009) A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, v. 90, p. 1-10. http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016

SEJIAN, V.; HYDER, I.; EZEJI, T.; LAKRITZ, J.; BHATTA, R.; RAVINDRA, J.P.; PRASAD, C.S.; LAL, R. (2015) Global Warming: Role of Livestock. *In*: SEJIAN, V.; GAUGHAN, J.; BAUMGARD, L.; PRASAD, C. (Orgs.). *Climate Change Impact on Livestock*: Adaptation and Mitigation. Nova York: Springer. p. 141-169.

SMITH P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H.; CLARK, H.; DONG, H.; ELSIDDIG, E.A.; HABERL, H.; HARPER, R.; HOUSE, J.; JAFARI, M.; MASERA, O.; MBOW, C.; RAVINDRANATH, N.H.; RICE, C.W.; ROBLEDO ABAD, C.; ROMANOVSKAYA, A.; SPERLING, F.; TUBIELLO, F. (2014) Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; FARAHANI, E.; KADNER, S.; SEYBOTH, K.; ADLER, A.; BAUM, I.; BRUNNER, S.; EICKEMEIER, P.; KRIEMANN, B.; SAVOLAINEN, J.; SCHLÖMER, S.; VON STECHOW, C.; ZWICKEL, T.; MINX, J.C. (Ed.). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (UK) and New York (USA): Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\_wg3\_ar5\_chapter11.pdf.

SPECK, R.; SELKE, S.; AURAS, R.; FITZSIMMONS, J. (2015) Choice of Life Cycle Assessment *Software* Can Impact Packaging System Decisions. *Packaging Technology and Science*, v. 28, n. 7, p. 579-588. https://doi.org/10.1002/pts.2123

TAN, M.Q.B.; TAN, R.B.H.; KHOO, H.H. (2014) Prospects of carbon labelling e a life cycle point of view. *Journal of Cleaner Production*, v. 72, p. 76-88. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.035

WEIDEMA, B.; HISCHIER, R.; ALTHAUSA, H.; BAUER, C.; DOKA, G.; DONES, R.; RISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; NEMECEK, T.; PRIMAS, A.; WERNET, G. (2009) *Ecoinvent Report n. O2*. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

© 2019 Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos de licença Creative Commons.

