

Pegada de carbono da produção de carne bovina no Nordeste de Portugal: comparação entre dois sistemas produtivos

Pedro Henrique Presumido¹

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Londrina, Brasil
Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal
pedrohpresumido@gmail.com

Fernando Sousa²

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA
Instituto Politécnico de Bragança,
Bragança, Portugal
fsousa@ipb.pt

Artur Gonçalves³

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA
Instituto Politécnico de Bragança,
Bragança, Portugal
ajg@ipb.pt

Tatiane Cristina Dal Bosco⁴

Departamento Acadêmico de Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Londrina, Brasil
tatianebosco@utfpr.edu.br

Manuel Feliciano⁵

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA
Instituto Politécnico de Bragança,
Bragança, Portugal
msabença@ipb.pt

Resumo – A indústria cárnica gera emissões elevadas de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. O setor pecuário mundial, por exemplo, é responsável por aproximadamente 18% das emissões globais dos gases do efeito estufa como CO₂, N₂O e CH₄. Este estudo teve por principal objetivo avaliar os impactes ambientais causados pelas emissões de GEE de dois sistemas produtivos de carne bovina - um semi-intensivo (SSI) e um extensivo biológico (SEB) - do Nordeste de Portugal. A metodologia seguiu uma abordagem de avaliação de ciclo de vida (ACV), tendo-se utilizado o software GaBi 6.0, na análise de inventário e na avaliação de impacte. Foi considerado as etapas da produção de alimentos, a produção e o abate de animais e, ainda, etapas a montante e a jusante, com a produção de energia, produção de fertilizante e a incineração dos resíduos cárnicos gerados. Os resultados obtidos foram expressos em kg CO₂-eq por kg de carcaça de bovino à saída do matadouro. Os valores obtidos foram de 22,6 kg CO₂-eq kg⁻¹ para SSI e 16,6 kg CO₂-eq kg⁻¹ para SEB. A fermentação entérica foi a maior contribuidora de GEE com 60,0% (SSI) e 61,1% (SEB), seguido pelo manuseio do dejetos com 35,6% (SSI) e 34,2% (SEB) e pelas emissões resultantes do uso de combustíveis e energia com 4,4% (SSI) e 3,9% (SEB). O matadouro, os transportes, o tratamento dos resíduos cárnicos e a produção de fertilizante apresentaram uma baixa contribuição em termos globais. Os resultados mostram que SEB apresenta menores impactes em termos de aquecimento global devido à sua menor pegada de carbono, revelando-se uma opção viável para reduzir as emissões de GEE no setor da produção de carne em Portugal. Para o SSI, uma possível alternativa para minimizar os impactes ambientais seria aumentar o ganho de peso dos animais num menor período, diminuindo o tempo para o abate e as emissões de GEE.

Palavras-chaves – avaliação de ciclo de vida; gases do efeito estufa; impactes ambientais.

I. INTRODUÇÃO

A indústria de produção de carne continua a crescer, gerando grandes quantidades de fluxos de resíduos orgânicos, elevados consumos de energia e água e elevadas emissões de gases. Assim, este setor vem enfrentando pressões económicas e ambientais significativas para reduzir o consumo de recursos materiais e energéticos e minimizar os impactes ambientais. Esta relação entre crescimento económico e melhoria do desempenho ambiental tornou-se um objetivo de investigação científica na última década [1].

A produção total mundial de carne bovina é aproximadamente de 60 milhões de toneladas em peso de carcaça produzida por ano. Os maiores produtores de carne são os Estados Unidos com 19,0% da produção mundial, seguido pelo Brasil com 15,3% e a União Europeia com 13,0% [2].

Em Portugal são abatidas cerca de 88.645 toneladas de gado bovino por ano, representando aproximadamente 70% das necessidades do mercado interno. O consumo nacional anual de carne é aproximadamente de 111,2 kg por pessoa, dos quais cerca de 17,9 kg são de carne bovina [3].

Existem grandes variações na estrutura agrícola e na utilização dos recursos dos diferentes sistemas de produção de carne bovina e, conseqüentemente, também na carga ambiental dos sistemas. A produção animal, mais comum, assenta na utilização de dois modelos denominados de intensivos e extensivos. Esses podem variar conforme o nível de tecnologia utilizada. Além destes dois modos de produção, existe o sistema produtivo biológico, onde as práticas adotadas procuram privilegiar as condições que contribuem para a preservação do ambiente com impactes positivos nos ecossistemas agrícolas [4].

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um poderoso conjunto de ferramentas para quantificar, avaliar, comparar e melhorar produtos e serviços em termos dos seus potenciais impactos ambientais. A ACV é, contudo, uma das metodologias com potencial e viabilidade de aplicação que estabelece uma visão genérica das consequências ambientais da produção de carne ao longo de todo o seu ciclo de vida. Neste contexto, todas as etapas relacionadas com a existência do produto são estudadas, desde a obtenção das matérias-primas necessárias, passando pelas várias etapas da produção do produto, até à sua disposição final [5].

A ACV foi considerada uma importante ferramenta para quantificar a intensidade dos GEE e a pegada de carbono na produção de carne bovina convencional e biológica em países como Suécia, Irlanda, Reino Unido e Austrália [6]. Segundo [7], as emissões dos gases do efeito estufa (GEE) em Portugal representaram um aumento de 15,7% face ao ano de 1990 e um crescimento de 7,1% em relação ao ano de 2014. Além disso, a pecuária em geral é responsável por aproximadamente 18% das emissões globais dos GEE [8]. Os maiores contribuintes são o dióxido de carbono (CO₂) associado ao uso de combustíveis fósseis, o óxido nitroso (N₂O) emitido pelos dejetos (e.g. estrume, urina) e associado à aplicação de fertilizantes nitrogenados, e o metano (CH₄), que é gerado a partir da digestão dos ruminantes e do manuseio dos dejetos.

Neste contexto, este estudo visou investigar e quantificar as emissões de GEE, utilizando uma abordagem de ACV, comparando dois sistemas de produção de carne bovina prevalentes no Nordeste de Portugal – o sistema de produção semi-intensiva e extensiva biológica, para os quais existem poucos estudos sobre a intensidade de GEE.

II. MATERIAL E MÉTODOS

A. Definição do Objetivo e Âmbito da Avaliação do Ciclo de Vida

O objetivo da ACV foi investigar as emissões diretas e indiretas de GEE associadas a dois sistemas de produção de carne do Nordeste de Portugal - sistema semi-intensivo (SSI) e sistema extensivo biológico (SEB). Foram quantificadas as emissões de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄) associadas às práticas agrícolas, ao uso de energia e de combustíveis. A análise é limitada aos aspectos ambientais, e não considera questões económicas e sociais. Para isso, foi utilizado o *software* GaBi 6.0.

B. Fronteira do Sistema, Alocação e Unidade Funcional

A disponibilização de carne bovina ao consumidor envolve um conjunto de etapas bastante complexas como a produção da alimentação dos animais, a produção do animal, o seu abate nos matadouros e, por fim, o seu transporte para o mercado consumidor. Este estudo considerou a cadeia produtiva dos bovinos da produção de alimentos até ao matadouro, com os respetivos transportes, produção de energia, produção de fertilizante e incineração como tratamento dos resíduos cárnicos gerados (Figura 1).

A alocação consiste na divisão apropriada dos fatores de impacto do processo entre os produtos principais e os subprodutos do sistema. Utiliza-se esse procedimento quando, por exemplo, o sistema gera mais de um produto. Assim, a

alocação aplicada a este estudo foi efetuada com base na massa do peso dos animais [9].

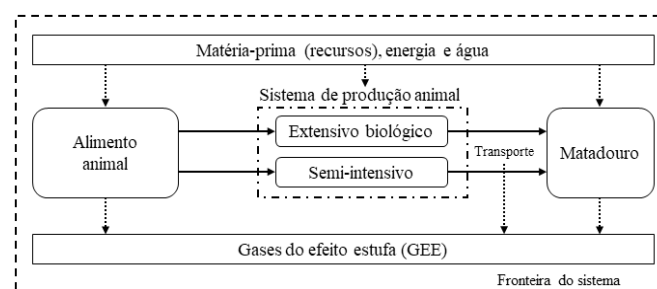


Figura 1. Descrição da fronteira do sistema para ACV da produção de carne bovina.

Para auxiliar a interpretação e a comparação dos resultados, a unidade funcional (UF) utilizada foi de 1 kg de carcaça de bovino à saída do matadouro.

C. Características gerais dos sistemas

O SSI tem um total de 89 animais (incluindo vitelos, novilhas, vacas e touros). O parto ocorre durante todo ano e cada vitelo é desmamado com 7 a 9 meses de idade. A taxa de substituição é de 12 a 15% ao ano e a mortalidade nos vitelos entre o nascimento e o desmame é de 5%. Neste sistema, a idade do primeiro parto é entre 24 e 27 meses e a idade de abate é de 7 a 9 meses para vitelos e vitelas. A dieta para cada categoria de animais é composta principalmente por feno produzido no local e alimentos concentrados. Os dejetos, para este sistema, são acumulados nos alojamentos, tratados e, posteriormente, distribuídos no campo.

A exploração do SEB é constituída por 190 animais (incluindo vitelos, novilhas, vacas e touros). As vacas ficam em pastoreio o ano inteiro. O desmame ocorre entre os 6 e 8 meses de idade dependendo do mês de nascimento e, especialmente da disponibilidade de pastagem durante o ano. A taxa de substituição é de 8 a 10% e a mortalidade nos vitelos entre o nascimento e o desmame é de 2%. No SEB, a idade de abate é entre 6 e 8 meses para vitelos e vitelas. A alimentação animal também é produzida na própria exploração, predominantemente constituído por palha e feno, além da utilização de alimentos concentrados. No SEB, como os animais pastoreiam a maior parte do tempo, os dejetos ficam logo dispostos no campo.

As pastagens, tanto para SSI como para SEB, foram consideradas naturais, embora com recurso a adubação com superfosfato de cálcio 18% na quantidade de 200 kg por ha com aplicação a cada 2 a 3 anos.

O matadouro considerado como referência neste estudo faz o abate de vários tipos de animais, entre eles, os bovinos, caprinos, ovinos, suínos e aves. Contudo, o estudo teve como objetivo a ACV da produção apenas da carne bovina. O processo de abate tem um funcionamento de 28 horas de trabalho semanais, o que resulta em aproximadamente 600.000 kg de carne por ano. O combustível utilizado para a caldeira no matadouro é o gás natural. O gás natural é utilizado para a produção de água quente e para o cozedor de sangue do matadouro.

D. Análise do Inventário do Ciclo de Vida

Para análise de inventário do ciclo de vida, foi levado em consideração as entradas dos processos, definido como os recursos utilizados, e as saídas para o ambiente (emissões) ligadas à produção de carne bovina. Os *inputs* baseiam-se, principalmente, nos dados obtidos com questionários aplicados, mas também em informação recolhida junto de especialistas das diferentes etapas da fileira. Os principais *inputs*, expressos em kg por kg de UF encontram-se na Tabela I.

TABELA I. PRINCIPAIS INPUTS ASSOCIADOS COM OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO SSI E SEB, E PARA O PROCESSO DE ABATE NO MATADOURO.

Input	Quantidade	Unidade
SSI		
Água	0,0109	kg/kg de UF
Alimento animal	2,11	kg/kg de UF
Eletricidade	0,000544	kWh/kg de UF
Superfosfato de cálcio 18%	0,0306	kg/kg de UF
SEB		
Água	0,0237	kg/kg de UF
Alimento animal	3,42	kg/kg de UF
Eletricidade	0,000237	kWh/kg de UF
Superfosfato de cálcio 18%	0,067	kg/kg de UF
Matadouro		
Água	0,0076	kg/kg de UF
Animal vivo	1,80	kg/kg de UF
Eletricidade	0,146	kWh/kg de UF
Gás natural	0,252	kWh/kg de UF

A determinação das emissões foi assente na utilização de fatores de emissão específicos utilizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) [10] e pela Agência Europeia do Ambiente (EMEP/EEA) [11]. As equações e os fatores de emissão utilizados para este trabalho, junto com as suas respetivas referências são mostrados na Tabela II.

TABELA II. FONTES DAS EMISSÕES DE GEE, EQUAÇÃO OU FATOR DE EMISSÃO USADO E REFERÊNCIA.

Emissão	Equação / fator de emissão (FE)	Referência
Emissão devido à fermentação entérica		
CH ₄	FE = 10 kg CH ₄ animal ⁻¹ ano ⁻¹	Tier 1 [9]
Emissões devido ao manejo dos dejetos		
CH ₄	FE = 57 kg CH ₄ animal ⁻¹ ano ⁻¹	Tier 1 [9]
N ₂ O	= N excretado (kg) × FE × 44/28 FE = 0,07 kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹	Tier 2 [9]
NH ₃	FE = 13,4 kg NH ₃ animal ⁻¹ ano ⁻¹	Tier 1 [11]
COV ^a	FE = 8,902 kg COV animal ⁻¹ ano ⁻¹ (SSI) FE = 3,602 kg COV animal ⁻¹ ano ⁻¹ (SEB)	Tier 1 [11]
NO ₂	FE = 0,003 kg NO ₂ animal ⁻¹ ano ⁻¹	Tier 1 [11]
Emissões devido aos combustíveis das máquinas agrícolas^b		
CO	FE = 7,58 g CO (kg combustível) ⁻¹	Tier 1 [11]
CO ₂	FE = 3,14 kg CO ₂ (kg combustível) ⁻¹	
NO _x	FE = 33,37 g NO _x (kg combustível) ⁻¹	
NO ₂	FE = 0,051 g NO ₂ (kg combustível) ⁻¹	
NH ₃	FE = 0,0013 g NH ₃ (kg combustível) ⁻¹	

^a Compostos orgânicos voláteis.

^b Os valores assumem uma completa queima do combustível.

Os *inputs* e *outputs* dos processos de energia elétrica foram obtidas através da base de dados presentes no software GaBi 6.0. Para isso, foi utilizado um mix energético de produção de eletricidade para Portugal, onde estão incluídas as energias via queima de carvão, gás natural, combustíveis, biomassa, resíduos, energia hidroelétrica, fotovoltaica e eólica.

A base de dados do GaBi 6.0 também foi aplicada para os *inputs* e *outputs* dos transportes entre a produção animal e o matadouro (aproximadamente 50 km), produção do fertilizante,

o deslocamento dos resíduos gerados para a incineração e à caldeira do matadouro. Os dados foram consultados para aplicação em Portugal e/ou para a União Europeia.

A produção de concentrado animal não foi levada em consideração por este estudo, devido à pouca relevância global para as emissões de GEE como reportado no estudo de [12].

E. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Na fase final de avaliação do impacte ambiental, os resultados foram interpretados em termos de potencial de aquecimento global (PAG) pelo método de CML 2001, proposta por [13].

A emissão de CO₂ equivalente (CO₂-eq) é a quantidade de emissão de dióxido de carbono que causaria o mesmo efeito radiativo integrado num determinado horizonte de tempo, como uma quantidade emitida de um GEE de longa duração ou uma mistura de GEE. A emissão de CO₂-eq é obtida pela multiplicação da emissão de GEE pelo seu PAG para o horizonte de tempo dado [14]. A Equação 1 indica o modo de realização do cálculo do PAG. Onde, PAG_{a,i} é o PAG para a substância “i” integrada ao logo de um ano, “a”, expressa em kg CO₂-eq kg⁻¹ de emissão e *mi* é quantidade de substância “i” emitida em kg.

$$PAG = \sum PAG_{a,i} * m_i \tag{1}$$

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emissão de gases do efeito estufa (GEE), para um sistema semi-intensivo (SSI) e um sistema extensivo biológico (SEB) de produção animal, são mostrados na Figura 2.

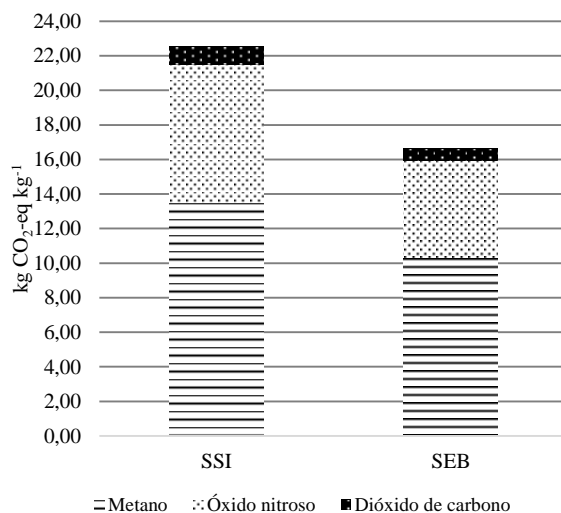


Figura 2. Valores obtidos para as emissões de GEE para a produção animal do SSI e SEB, expressos em kg CO₂-eq kg⁻¹ de UF.

Os valores obtidos para este estudo foram de 22,6 kg CO₂-eq kg⁻¹ para SSI e 16,6 kg CO₂-eq kg⁻¹ para SEB (Figura 2). As emissões médias de GEE resultantes da produção dos ruminantes em geral na União Europeia, incluindo a produção de alimentos, são de aproximadamente 20-23 kg CO₂-eq por kg de carne. Sendo que, a média é de 22,2 kg CO₂-eq kg⁻¹ para a produção de carne bovina e de 20,3 kg CO₂-eq kg⁻¹ para a produção de carne ovina e caprina. Para a suinicultura e

avicultura os valores médios são de, 7,5 kg CO₂-eq kg⁻¹ e 4,9 kg CO₂-eq kg⁻¹, respetivamente. Os valores mais elevados de emissões de GEE dos ruminantes relativamente aos suínos e às aves deve-se, sobretudo, às diferenças verificadas pela prevalência dos gases CH₄ e N₂O. Estas diferenças podem estar associadas a um processo de digestão mais eficiente e à ausência de fermentação entérica nos suínos e nas aves [15].

Os valores obtidos para a avaliação do PAG referente ao SSI estão próximos dos reportados em estudos de [16] que obtiveram valores de emissão de 23,0 kg CO₂-eq kg⁻¹ para os EUA, de [17], que estimaram valores de 23,4 kg CO₂-eq kg⁻¹ para o Brasil, de [18] com estimativas de 23,1 kg CO₂-eq kg⁻¹ para a produção de bovinos na Dinamarca e 25,4 kg CO₂-eq kg⁻¹ para a Suécia. Estudos de [19] reportam valores compreendidos entre 16,0 e 27,3 kg CO₂-eq kg⁻¹, para a União Europeia.

Com a necessidade de promover a produção ambientalmente correta, a produção animal biológica aparece como uma alternativa. Os estudos efetuados por [20] na Alemanha e por [21] na Austrália concluíram que uma transição para a produção biológica ou orgânica poderia ser uma forma viável de reduzir o uso de energia e as emissões de gases de efeito estufa.

Os resultados obtidos para este trabalho, para as emissões de GEE do SEB, estão de acordo com [22], que com o objetivo de analisar diferentes produções de animais encontraram para o SEB uma quantidade de 13,8 kg CO₂-eq kg⁻¹. Além disso, os autores discutem que as diferentes produções de bovinos podem diminuir as emissões de GEE, porém isso não deve afetar a produção de carne, procurando-se encontrar o equilíbrio entre a produção e o ambiente. Outros autores que também relataram valores próximos de emissões de GEE para o SEB são [23] para a Austrália com 17,5 kg CO₂-eq kg⁻¹, [24] com 18,2 kg CO₂-eq kg⁻¹ para o Reino Unido e [25] com 14,8 kg CO₂-eq kg⁻¹ para a Suíça.

Os resultados sugerem que a carne bovina produzida a partir do SSI (22,6 kg CO₂-eq kg⁻¹) é mais intensiva em GEE do que a carne bovina pelo SEB (16,6 kg CO₂-eq kg⁻¹). Este resultado torna-se consistente com pesquisas anteriores, que mostraram que dietas de maior qualidade e com altas taxas de crescimento reduzem as emissões de metano dos ruminantes e de óxido nitroso do estrume, as quais são contribuintes chave para as emissões de GEE do ciclo de vida [26].

Num estudo em que se realizaram simulações para o Reino Unido, com intuito de reduzir a emissão de GEE [27], concluiu-se que os sistemas de acabamento de curta duração, mais ligados a uma maior produção num uso mais eficaz de alimentos para animais de consumo, podem reduzir substancialmente as emissões de GEE. O desenvolvimento de técnicas de manejo dos sistemas produtivos e uma melhoria na alimentação dos animais poderiam reduzir as emissões entéricas de metano em até 22% [28].

Além disso, pode haver diminuições substanciais das emissões de GEE na produção animal através da seleção genética, seleção e manejo de forragem, inibição de metano e manejo animal [29]. Uma solução proposta por [30] para reduzir essas percentagens é a melhoria na produção e intensificação da pastagem para diminuir o tempo de engorda necessária do animal para o abate e, conseqüentemente, as emissões de GEE.

Na Figura 3 são mostradas as principais contribuições para as emissões dos GEE para a produção do SSI e no SEB.

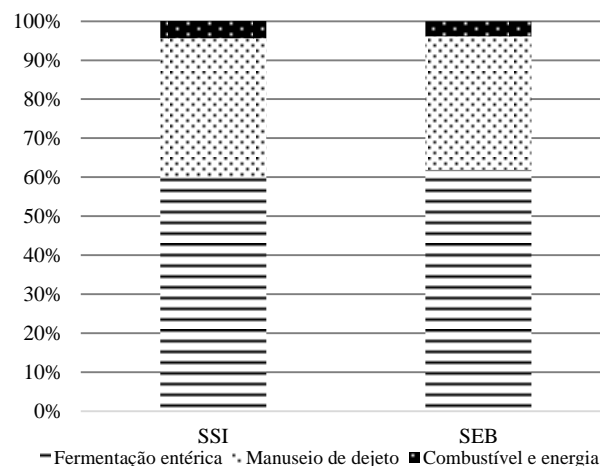


Figura 3. Contribuição relativa das principais fontes de GEE dos sistemas semi-intensivo (SSI) e biológica (SEB).

A. Fermentação entérica

O CH₄ proveniente do processo de fermentação entérica representa 60,0% e 61,9% das emissões totais de GEE para o SSI e SEB, respetivamente (Figura 3). Estes resultados são consistentes com outras análises que relatam a fermentação entérica que representa de 40-70% das emissões totais de GEE [31]. Porém, quanto se analisa os valores de emissões absolutas referente ao CH₄ observa-se maiores valores para o SSI com 8,0 kg CO₂-eq kg⁻¹, contra 5,7 kg CO₂-eq kg⁻¹ do SEB.

Além disso, [32] observaram valores maiores da contribuição de CH₄ entérico para o SEB (52,8%) do que o SSI (48,6%) para estimar o impacto ambiental de produções biológicas e convencionais em pequena escala em áreas de montanha. Em estudos desenvolvidos por [33] os sistemas de produção biológica também apresentaram uma maior contribuição do CH₄ entérico para as emissões GEE relativamente aos sistemas de produção semi-intensiva (SEB com 55% e SSI com 50%).

B. Manuseio de dejetos

O óxido nitroso (N₂O) a partir do manuseio de dejetos representou 35,6% (SSI) e 34,2% (SEB) das emissões totais (Figura 3). Os valores encontrados para este trabalho estão de acordo com os apresentados em [34] que reportaram uma contribuição de N₂O para GEE entre 19-33%. A composição da alimentação dos animais nas diferentes variedades de exploração pode afetar o fluxo de N₂O emitido para a atmosfera, em especial, o teor de proteína consumido influencia a digestão de azoto e as quantidades que são excretadas nos dejetos dos animais [35].

C. Uso de combustível e energia

As emissões resultantes do uso de combustíveis e de energia elétrica, que são maioritariamente de CO₂, tiveram menores contribuições, 4,4% no SSI e 3,9% no SEB. Num estudo de [36], com o objetivo de quantificar a tendência de emissões de GEE para a indústria australiana de bovinos de corte, foram estimadas contribuições de dióxido de carbono de 3-5% a partir dos combustíveis fósseis e da energia elétrica

utilizada. As emissões de CO₂ representam uma parcela relativamente pequena da pegada de carbono comparado com a análise de todo sistema de produção de carne bovina [37].

A produção de fertilizante para as pastagens também foi considerada, devido sobretudo à dependência energética destes processos. Não obstante, a produção de fertilizantes apresentou pouca significância em relação às emissões globais de GEE, com contribuição de 0,052% para SSI e 0,154% para SEB.

D. Tratamento dos resíduos cárnicos gerados

O transporte e o tratamento por incineração dos resíduos cárnicos foram considerados pouco relevantes em relação às emissões diretas dos GEE sobre os dois sistemas estudados [38].

E. Processo de abate dos animais (matadouro)

Na Figura 4 são apresentados os resultados das emissões de GEE referente ao matadouro.

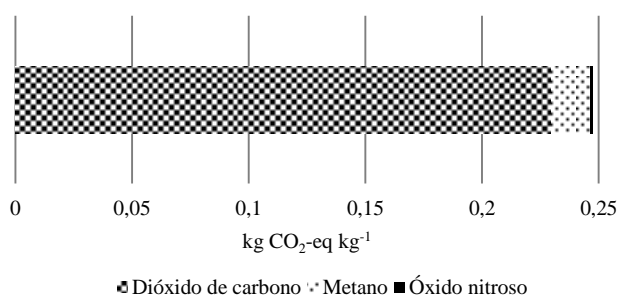


Figura 4. Valores estimados das emissões de GEE para a etapa do abate, expressos em kg CO₂-eq kg⁻¹ de UF.

Segundo [39], foram encontrados valores gerais para a produção de GEE em todo o sistema produtivo de carne bovina, desde a produção do alimento até ao abate, de 19 kg CO₂-eq kg⁻¹, sendo que 0,2 kg CO₂-eq kg⁻¹ foi atribuído aos processos do matadouro. Valores próximos foram encontrados pelo presente trabalho, no qual o matadouro apresentou 0,247 kg CO₂-eq kg⁻¹. Neste mesmo sentido, [40] relataram que as emissões de GEE associadas aos processos de abate foram de 0,18 kg CO₂-eq kg⁻¹, ou cerca de 2% das emissões de GEE da produção animal. Estes resultados mostram que a intensidade de impacte ambiental relacionado com emissões de GEE nos matadouros é inferior à estimada para a produção animal.

A Figura 5 mostra as principais contribuições para os GEE sobre o matadouro em estudo.

A repartição das contribuições por fonte para as emissões de gases de efeito de estufa do processo de abate revela que o uso de insumos como calor e eletricidade, em especial, são os maiores contribuintes (70,6%), seguidos pela incineração como tratamento dos resíduos cárnicos gerados (19,3%) e do transporte (10,1%). Estes resultados estão de acordo com estudos de [39] que analisaram diferentes sistemas de produção de carne bovina, com especial enfoque na fase de abate.

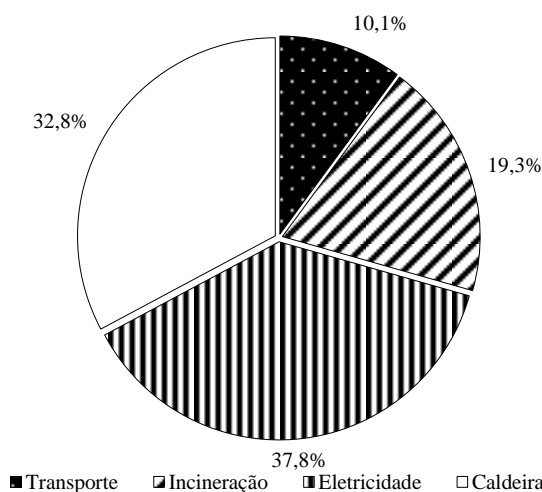


Figura 5. Contribuição relativa das principais fontes de GEE da etapa do processo de abate no matadouro.

IV. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a pegada de carbono da produção de carne bovina entre o SSI e SEB são bastante diferentes: o impacte ambiental do SSI é de 22,6 kg CO₂-eq kg⁻¹ contra 16,6 kg CO₂-eq kg⁻¹ para SEB. A divergência entre os resultados está relacionada com uma maior quantidade de emissões de metano resultantes da fermentação entérica e do manuseio do dejecto, daí a necessidade de focalizar recursos para minimização destes impactes ambientais. O matadouro, os transportes associados, a produção de fertilizante e o tratamento dos resíduos sólidos apresentaram pouca significância quando comparadas com as contribuições da produção animal.

Como os resultados mostram que SEB tem impactes diretos e indiretos menores do que SSI, uma transição para a agricultura orgânica poderia ser uma forma viável de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Para o SSI, uma possível alternativa para minimizar os impactes ambientais seria aumentar o ganho de peso dos animais em um menor espaço de tempo, assim, diminuindo o tempo de abate e as emissões de GEE.

Para o matadouro, as maiores contribuições foram principalmente a utilização de energia, tanto eléctrica como térmica. Medidas de eficiência energética podem ser aplicadas para a minimização dos impactes causados. A diminuição dos GEE gerados pela incineração dos resíduos sólidos poderia ser diminuída com a busca de tecnologias para o reaproveitamento destes resíduos como subprodutos.

Os trabalhos futuros podem considerar a aplicação de estratégias de mitigação para reduzir as emissões de GEE da cadeia produtiva da carne bovina, em especial, sobre os efeitos de diferentes tipos de alimentação para os animais para a produção animal e melhoramento da eficiência energética para o matadouro.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem aos agricultores e as empresas envolvidas a disponibilização de dados relevantes para este estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] Santagata, R., Ripa, M., Ulgiati, S. (2017). An environmental assessment of electricity production from slaughterhouse residues. Linking urban, industrial and waste management systems. *Applied Energy* 186, 175–188.
- [2] USDA/Foreign Agricultural Service. (2016). *Livestock and Poultry: World Markets and Trade*. Office of Global Analysis.
- [3] Instituto Nacional de Estatística (2015). *Produção de carne por tipo de carnes e consumo nacional*. Acedido em 18 de maio de 2017, em: <http://www.ine.pt>.
- [4] Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2 (February), 1–8.
- [5] Beauchemin, K. A., & McGeough, E. J. (2013). *Life Cycle Assessment in Ruminant Production*. In: E. Kebreab, editor, *Sustainable Animal Agriculture*. CAB International, Boston, MA. p. 212-237.
- [6] Pelletier, N., Pirog, R., & Rasmussen, R. (2010). Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, 103(6), 380–389.
- [7] Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2017). *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (NIR 2017 – emissões 2015)*. Departamento de Alterações Climáticas (DCLIMA).
- [8] Vries, M. de, & Boer, I. J. M. de. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: a review of life cycle assessments. *Livest. Sci.* 128, 1-11.
- [9] Nguyen, T. T. H., van der Werf, H. M. G., Eugène, M., Veysset, P., Devun, J., Chesneau, G., & Doreau, M. (2012). Effects of type of ration and allocation methods on the environmental impacts of beef-production systems. *Livestock Science*, 145(1–3), 239–251.
- [10] IPCC. (2006). *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. In: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (Eds.), Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.
- [11] EMEP/EEA. (2016). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*. European Environment Agency. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [12] Tichenor, N. E., Peters, C. J., Norris, G. A., Thoma, G., & Griffin, T. S. (2017). Life cycle environmental consequences of grass-fed and dairy beef production systems in the Northeastern United States. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1619–1628.
- [13] Guinée, J. B., Gorrée, M., ... & Huijbregts, M. A. J., (2001). *LCA – An operational guide to the ISO-standards* (Guinée et al.) – Part 2b: Operational annex (Final report. May 2001). Institute of Environmental Science (CML), Faculty of Science. Leiden University. The Netherlands.
- [14] IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- [15] Leip, A., Weiss, F., Wassenaar, T., Perez, I., Fellmann, T., Loudjani, P., ... Biala, K. (2010). Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS) –final report. European Commission, Joint Research Centre, 32.
- [16] Lupo, C. D., D. E. Clay, J. L. Benning, & J. J. Stone. (2013). *Life-Cycle Assessment of the Beef Cattle Production System for the Northern Great Plains, USA*. *J. Environ. Qual.* 42:1386-1394.
- [17] Ruviaro, C. F., De Léis, C. M., Lampert, V. D. N., Barcellos, J. O. J., & Dewes, H. (2015). Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 96, 435–443.
- [18] Mogensen, L., Kristensen, T., Nielsen, N. I., Spleth, P., Henriksson, M., Swensson, C., Hesse, A., & Vestergaard, M. (2015). Greenhouse gas emissions from beef production systems in Denmark and Sweden. *Livestock Science* 174, 126–143.
- [19] Nguyen, T. L. T., Hermansen, J. E., & Mogensen, L. (2010). Environmental consequences of different beef production systems in the EU. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 756-766.
- [20] Haas, G., Wetterich, F., & Köpke, U. (2001). Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83(1–2), 43–53.
- [21] Wood, R., Lenzen, M., Dey, C., & Lundie, S. (2006). A comparative study of some environmental impacts of conventional and organic farming in Australia. *Agricultural Systems*, 89(2–3), 324–348.
- [22] Casey, J. W., & Holden, N. M. (2006). Greenhouse gas emissions from conventional, agri-environmental scheme, and organic Irish suckler-beef units. *J. Environ. Qual.* 35, 231–239.
- [23] Peters, G. M., Rowley, H. V., Wiedemann, S., Tucker, R., Short, M. D., & Schulz, M. (2010). Red meat production in Australia: Life cycle assessment and comparison with overseas studies. *Environmental Science and Technology*, 44(4), 1327–1332.
- [24] Williams, A.G., Audsley, E. & Sandars, D.L. (2006) Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report. Defra Research Project ISO205. Bedford: Cranfield University and Defra.
- [25] Alig, M., Grandl, F., Mieleitner, J., Nemecek, T., Gaillard, G., 2012. *Ökobilanz von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch*, Schlussbericht September 2012. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich, Switzerland.
- [26] Beauchemin, K. A., Janzen, H. H.; Little, S.M., Mcallister, T.A., & Mcginn, S.M. (2010). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agric. Syst.* 103:371-379.
- [27] Hyslop J. 2008. Simulated global warming potential and ammonia emission figures for a range of suckler herd breeding strategies and beef cattle finishing systems. *Livestock and Global Climate Change International Conference Proceedings*, Cambridge University Press, UK.
- [28] DeRamus, H. A., Clement, T. C., Giampola, D. D., & Dickison, P. C. (2003). Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal of Environmental Quality*, 32(1), 269–277.
- [29] Wittenberg, K. M. (2008). Enteric methane emissions and mitigation opportunities for Canadian cattle production systems. *The Vaccine and Infectious Disease Organization, Beef Technical Group*.
- [30] White, R. R., Brady, M., Capper, J. L., & Johnson, K. A. (2014). Optimizing diet and pasture management to improve sustainability of U. S. beef production. *Agricultural Systems*, 130, 1–12.
- [31] Vergé, X. P. C., Dyer, J. A., Desjardins, R. L., & Worth, D. (2008). Greenhouse gas emissions from the Canadian beef industry. *Agricultural Systems*, 98(2), 126–134.
- [32] Salvador, S., Corazzin, M., Piasentier, E., & Bovolenta, S. (2016). Environmental assessment of small-scale dairy farms with multifunctionality in mountain areas. *Journal of Cleaner Production* 124 94-102.
- [33] Meier, M. S., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C., & Stolze, M. (2015). *Journal of Environmental Management* 149, 193-208.
- [34] Cerri, C. C., Moreira, C. S., Alves, P. A., Raucci, G. S., Castigioni, B. D. A., Mello, F. F. C., ... Cerri, C. E. P. (2016). Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: A case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2593–2600.
- [35] Buratti, C., Fantozzi, F., Barbanera, M., Lascaro, E., Chiorri, M., & Cecchini, L. (2017). Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. *Science of the Total Environment*, 576, 129–137.
- [36] Wiedemann, S. G., Henry, B. K., McGahan, E. J., Grant, T., Murphy, C. M., & Niethe, G. (2015). Resource use and greenhouse gas intensity of Australian beef production: 1981-2010. *Agricultural Systems*, 133, 109–118.
- [37] Kissinger, M., & Dickler, S. (2016). Interregional bio-physical connections - A “footprint family” analysis of Israel’s beef supply system. *Ecological Indicators*, 69, 882–891.
- [38] Cederberg, C., Meyer, D., & Flysjö, A. (2009). Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production. *The Swedish Institute for Food and Biotechnology*.
- [39] Mogensen, L., Nguyen, T. L. T., Madsen, N. T., Pontoppidan, O., Preda, T., & Hermansen, J. E. (2016). Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the slaughtering stage: input and output. *Journal of Cleaner Production* 133, 284-293.
- [40] Desjardins, R. L., Worth, D. E., Vergé, X. P. C., Maxime, D., Dyer, J., & Cerkowniak, D. (2012). Carbon footprint of beef cattle. *Sustainability*, 4(12), 3279–3301.