

PEGADA DE CARBONO NA BOVINOCULTURA DE CORTE PELA ÓTICA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Saionara da Silva - saiomat00@gmail.com

Márcia Maria dos Santos Bortolocci Espejo - marcia.bortolocci@ufms.br

Denise Barros de Azevedo - denise.azevedo@ufms.br

* Submissão em: 14/01/2024 | Aceito em: 11/06/2024

RESUMO

A produção mundial de carne bovina gera impactos no meio ambiente, em principal pela Emissão de Gases de Efeito Estufa. Tendo por objetivo “Analisar o desenvolvimento científico em relação à Pegada de Carbono no cenário nacional e mundial no âmbito da bovinocultura de corte que tenha como base a Avaliação de Ciclo de Vida” foi realizada uma Revisão Sistemática na Scielo, Web of Science, Science Direct e Spell, com os termos “Pegada de Carbono e Bovinocultura de Corte”; e “Carbon Footprint and Beef Cattle”. Após aplicar critérios de restrição e exclusão, a pesquisa analisou 8 estudos que versam sobre as Emissões de GEE utilizando a Avaliação de Ciclo de Vida. Entre as ações que tiveram efeito nas emissões de GEE estão o manejo do solo e o melhoramento genético.

Palavras Chaves: GEE, Emissão, Bovinocultura de Corte, Avaliação do Ciclo de Vida.

CARBON FOOTPRINT IN BEEF CATTLE FARMING FROM THE PERSPECTIVE OF LIFE CYCLE ASSESSMENT

ABSTRACT

The global production of beef generates impacts on the environment, mainly due to the Emission of Greenhouse Gases. With the objective of “Analyzing scientific development in relation to the Carbon Footprint on a national and global scale in the context of beef cattle farming based on Life Cycle Assessment”, a Systematic Review was carried out on Scielo, Web of Science, Science Direct and Spell, with the terms “Carbon Footprint and Beef Cattle Farming”; and “Carbon Footprint and Beef Cattle.” After applying restriction and exclusion criteria, the research analyzed 8 studies that deal with GHG Emissions using Life Cycle Assessment. Among the actions that had an effect on GHG emissions are soil management and genetic improvement.

Keywords: GEE, Emission, Beef Cattle, Life Cycle Assessment.

1. INTRODUÇÃO

A bovinocultura de corte tem relevância no cenário nacional e mundial, por ser uma atividade que impacta expressivamente na economia, apresentando crescimentos anuais sucessivos (USDA, 2021a; USDA, 2021b). Para o ano de 2023, foi previsto um aumento de 1% na produção mundial de carne bovina em relação à 2022, visto que os preços globais elevados da carne bovina induzem mais abates (USDA, 2023). Os aumentos individuais de países como Austrália (10%), Brasil (2%), China (3%) e Índia (2%), e a possível queda na produção dos Estados Unidos contribuem para esse cenário de crescimento (USDA, 2023).

Os sucessivos aumentos na produção mundial de carne ocorridos nos últimos anos (USDA, 2023), refletem, em alguma medida, no meio ambiente, o que vem a comprometer a sustentabilidade ambiental do planeta. Um desses reflexos ocorre por meio da Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) conforme bem ressalta Zen *et al.* (2008). Araldi (2021) pontua que a questão-chave não perpassa somente pela produção do GEE e sim pelo balanço que deve ser feito entre a quantidade de gases produzida e a quantidade que pode ser sequestrada pelo ambiente onde o animal está sendo manejado.

Essas questões estão diretamente relacionadas à Pegada de Carbono, a qual mede a quantidade de Gases de Efeito Estufa (GEE) produzida em unidades de carbono equivalente (em toneladas) e lançada no meio ambiente (HOEKSTRA ET AL., 2011). Dita de outra forma, é a soma das emissões de GEE gerados por uma organização, evento ou produto e é expressa em unidades de CO₂ equivalente (HOEKSTRA ET AL., 2011). Com base em estudos de Pegada de Carbono é possível compreender qual a real situação do meio ambiente em relação às Emissões de GEE, buscando a proposição de alternativas que visem à redução ou mitigação dos efeitos nocivos ao meio ambiente.

Estudos já indicam algumas alternativas que a bovinocultura de corte pode adotar visando essa redução. São estratégicas como a Integração Lavoura-pecuária (ASSAD et al., 2019); e mudanças nas dietas do gado, no consumo e o desempenho animal (LIMA et al., 2020).

Assim, analisando o impacto que atividade da bovinocultura de corte apresenta ao meio ambiente via Emissão de GEE, surgiu o interesse em realizar uma pesquisa que verse sobre o tema. Com isso, o objetivo do estudo é “Analisar o desenvolvimento científico em relação à Pegada de Carbono no cenário nacional e mundial no âmbito da bovinocultura de corte que

tenha como base a Avaliação de Ciclo de Vida”. Por conseguinte, a questão que norteia a pesquisa é “O que a literatura revela a respeito da Pegada de Carbono, no tocante à bovinocultura de corte?”.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a presente pesquisa foi realizada uma Revisão Sistemática, ocorrida em abril de 2023. Sobre este tipo de revisão Sampaio e Mancini (2007) enumeram que, por meio da aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada, esse tipo de revisão disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica.

Uma Revisão Sistemática pode ser executada de diferentes formas, a depender dos critérios de cada autor. Na visão de Bryman (2012) os processos de revisão sistemática tendem a incluir quatro etapas, as quais foram seguidas na presente pesquisa, a saber: Definição do objetivo e escopo da revisão; Busca dos estudos; Avaliação dos estudos da etapa 2; e Análise de cada estudo e síntese dos resultados. Portanto, para compor a base de dados foram selecionados: Scielo, Web of Science, Science Direct, e Spell. Nestas bases foram empregados os seguintes termos de busca “Pegada de Carbono e Bovinocultura de Corte”; e “*Carbon Footprint and Beef Cattle*”.

De início a busca resultou em 188 documentos, dos quais foram excluídos os repetidos quanto ao título e conteúdo, restando 170 para a filtragem por ano. Nessa filtragem, optou-se por reunir apenas estudos publicados entre 2018 e 2023. Assim, 124 estudos passaram para a próxima fase, a qual consistiu em uma análise aprofundada, com leitura dos artigos (foi aplicada uma leitura completa e minuciosa envolvendo desde o título, resumo, palavras-chave, metodologia, resultados, até as conclusões) com o intuito de localizar somente estudos que utilizaram a Avaliação de Ciclo de Vida. Sendo assim, oito estudos compõem os resultados da presente pesquisa.

3. RESULTADOS

Os resultados encontrados na pesquisa foram divididos em dois grupos. O primeiro se refere a uma caracterização dos estudos, de forma a expor os dados mais genéricos, como idioma, ano, periódico e local de publicação. Enquanto que o segundo grupo aborda uma síntese dos estudos visando, principalmente, expor como as Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) estão sendo contempladas nas pesquisas pela ótica da Avaliação do Ciclo de Vida (LCA).

Cabe ressaltar que Muralikrishna e Manickam (2017) esclarecem que a Avaliação do Ciclo de Vida (em inglês *Life Cycle Assessment/LCA*) é uma técnica de análise do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*) ou do berço ao berço (*cradle-to-cradle*) para avaliar os impactos ambientais associados a todos os estágios da vida de um produto, desde a extração da matéria-prima até o processamento, fabricação, distribuição e uso dos materiais.

Em outras palavras, Willers *et al.* (2013) informam que se trata de uma metodologia de avaliação de impacto ambiental de produtos e sistemas de produção considerando todo o ciclo de vida, desde a aquisição de matérias-primas até a disposição final.

3.1 Caracterização dos Estudos

Todos os artigos foram publicados em inglês. Os artigos estão bem distribuídos quanto ao nexo temporal, tendo sido publicados 02 estudos em 2019 e 02 em 2022, nos demais anos (2018, 2020, 2021 e 2023) foram publicados 01 artigo por ano.

Os 08 estudos de LCA foram publicados em 04 periódicos distintos, os quais estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Publicação por Periódico

Periódico	Quantidade	%
<i>Journal of Cleaner Production</i>	04	50
<i>Environmental Impact Assessment Review</i>	02	25
<i>Animals</i>	01	12,5
<i>Agricultural Systems</i>	01	12,5
Totais	08	100

Fonte: Dados da Pesquisa

O “*Journal of Cleaner Production*” que recebeu 04 estudos, é um periódico internacional, focado em pesquisas e práticas sobre Produção Mais Limpa (a qual visa prevenir a produção de resíduos, ao mesmo tempo que aumenta a eficiência na utilização de energia, água, recursos e capital humano), Ambiental e Sustentabilidade.

Por sua vez, o “*Environmental Impact Assessment Review*” publicou 02 artigos referentes ao tema analisado. É um periódico que apresenta interesse na área de avaliação de impacto (AI) e gestão. O periódico situa o leitor, informando que a AI é o processo de identificação das consequências futuras de uma ação atual ou proposta.

Com 01 artigo analisado na presente pesquisa, tem-se o periódico “*Animals*” que publica estudos relacionados ao manejo e à criação de animais, abrangendo desde o

melhoramento e a genética, a nutrição, a fisiologia e biologia funcional, os sistemas pecuários, a qualidade dos produtos de origem animal, até mesmo a gestão de bem-estar, comportamento e saúde.

Por fim, o “*Agricultural Systems*”, o qual também possui um artigo analisado na presente pesquisa, é uma revista internacional que trata das interações - entre os componentes dos sistemas agrícolas, entre os níveis hierárquicos dos sistemas agrícolas, entre os sistemas agrícolas e outros sistemas de uso da terra, e entre os sistemas agrícolas e seus sistemas naturais, sociais e econômicos.

A autoria dos 08 estudos está contida no Quadro 1, assim como o local em que foram realizadas as pesquisas.

Quadro 1: Autoria dos estudos sobre Emissão de GEE em meio a uma Avaliação do Ciclo de Vida

Autores	Local	Autores	Local
McAuliffe <i>et al.</i> (2018)	Inglaterra	Saget <i>et al.</i> (2021)	Alemanha
Lynch (2019)	Sem local	Mazzetto <i>et al.</i> (2022)	Nova Zelândia
Rotz <i>et al.</i> (2019)	EUA	Reyes-Palomo <i>et al.</i> (2022)	Espanha
O’Brien <i>et al.</i> (2020)	Europa Ocidental ¹	Putman <i>et al.</i> (2023)	EUA

Legenda: 1. Irlanda, Espanha, Itália e França; 2. Amazônia e Cerrado; 3. São Carlos/SP.

Fonte: Dados da Pesquisa

Quanto ao local estudado, apenas os Estados Unidos foram contemplados em 02 artigos, os demais focaram em locais distintos, sendo eles: Alemanha, Espanha, Inglaterra, Nova Zelândia, Europa Ocidental (composta por Irlanda, Espanha, Itália e França). Houve a ocorrência de 01 estudo que não contemplou local, pois se trata de um estudo de revisão sistemática.

3.2 Síntese dos estudos

A primeira pesquisa no tema é de McAuliffe *et al.* (2018), que objetivaram “propor uma nova abordagem de avaliação do impacto do ciclo de vida que complementa a metodologia LCA existente”. Foram utilizados dados detalhados da fazenda coletados na “*North Wyke Farm Platform*” (NWFP). O NWFP está localizado em Devon, condado do sudoeste da Inglaterra, e consiste em três fazendas de gado de pequena escala (21 ha) hidrologicamente isoladas conhecidas como “farmlets”. Importante ressaltar que o estudo de McAuliffe *et al.* (2018) envolve apenas o estágio pós-desmame (terminação) do ciclo de vida do gado (pelos motivos discutidos abaixo), não é uma análise completa da Pegada de Carbono no sentido mais estrito.

Os dados de campo, como qualidade da forragem e desempenho animal, foram medidos em alta resolução espacial e temporal e transferidos diretamente para os processos de LCA. Essa abordagem permitiu a derivação da intensidade das emissões (de GEE) para cada animal individual e, por extensão, sua distribuição intra-fazenda, fornecendo um passo para reduzir a incerteza relacionada à produção agrícola inerente aos estudos de LCA para alimentos.

McAuliffe *et al.* (2018), observaram que, dependendo das estratégias de manejo do pasto, a intensidade total das emissões estimada pelo método proposto foi maior do que o valor equivalente recalculado usando uma abordagem animal representativa por 0,9–1,7 kg CO₂-eq/kg de ganho de peso vivo, ou até 10% das emissões de todo o sistema.

Para McAuliffe *et al.* (2018), este achado sugere que os valores de intensidade de emissões derivados por esta última técnica podem estar subestimados devido à consideração insuficiente dada aos animais de baixo desempenho, cujas emissões se tornam exponencialmente maiores à medida que o ganho médio diário diminui.

A conclusão a que chegou o estudo de McAuliffe *et al.* (2018), é que o viés sistemático identificado em sua pesquisa exige uma interpretação cuidadosa dos resultados de LCA potencialmente otimistas com base em dados de rebanho pré-mediados. Ao mesmo tempo, abre uma grande oportunidade para reduzir as pegadas de carbono associadas aos sistemas de produção pecuária, já que o benefício ambiental da seleção animal baseada em evidências provavelmente será consideravelmente maior do que se pensa atualmente.

Os autores perceberam a existência de lacunas de pesquisa a serem preenchidas, e sugerem que, estudos futuros devem investigar as implicações políticas da presente descoberta, incluindo sua aplicabilidade a análises em escala regional e nacional.

A pesquisa de Lynch (2019) visa “estabelecer como as pegadas de GEE são relatadas e como os dados desagregados de emissões prontamente disponíveis estão na literatura atual”. Visto isso, o artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura das pegadas de carbono harmonizadas do berço à pecuária, a partir de estudos de baixo para cima em sistemas individuais ou representativos, coletando os dados de emissões para cada GEE separado, em vez de um único valor de CO₂e (LYNCH, 2019).

As emissões desagregadas de GEE não puderam ser obtidas para a maioria dos estudos. Entretanto, Lynch (2019) esclarece que, onde as composições individuais de GEE estavam disponíveis, foi encontrada uma variação significativa para todos os gases.

Lynch (2019) usaram uma comparação de sistemas de produção de carne bovina alimentados e não alimentados com capim para ilustrar a dinâmica que não é suficientemente capturada por meio de uma única pegada de CO₂e. Poucas tendências claras surgiram entre os dois grupos dietéticos, mas houve uma indicação não significativa de que sob os sistemas alimentados com capim geralmente parecem mais eficientes em termos de emissões, mas sob uma métrica alternativa, o potencial de temperatura global de cem anos, a carne produzida a pasto teve pegadas mais baixas (LYNCH, 2019).

A conclusão da revisão é de que, apesar do foco recente nas emissões agrícolas, há dados insuficientes disponíveis para abordar questões importantes sobre os impactos climáticos da produção agrícola, por isso é importante que os pesquisadores incluam emissões de GEE separadas, além das pegadas de CO₂e agregadas.

Com isso, Lynch (2019) acreditam ser relevante uma maior consciência dos debates em torno das métricas de equivalência de dióxido de carbono, além do que, mais consideração dada à escolha da métrica ou à incorporação de abordagens de modelagem climática podem melhorar significativamente a avaliação das emissões agrícolas, sendo isso uma possível lacuna de pesquisa.

Importante destacar, para além das conclusões da pesquisa, que a LCA esteve presente o ato da revisão sistemática, e que o estudo de Lynch (2019) enfoca as emissões do berço ao portão, como um limite de sistema comumente usado para LCAs de produção agrícola. Lynch (2019) esclarecem que o componente de emissões de GEE de uma LCA é muitas vezes referido como a 'Pegada de Carbono' de um produto, entretanto, preferem o termo 'pegada de GEE'. Com isso, perceberam que os artigos (oriundos da revisão de literatura) geralmente usavam uma abordagem LCA atribucional (embora isso raramente fosse explicitamente declarado).

Buscando “quantificar importantes impactos ambientais da pecuária de corte nos Estados Unidos”, Rotz *et al.* (2019) selecionaram sete regiões (Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste, Planícies do Norte, Planícies do Sul, Noroeste e Sudoeste) do País, e fizeram o levantamento e visitas a fazendas, ranchos e confinamentos para determinar as práticas e características comuns da produção de gado.

Esses dados, juntamente com outras fontes de informação, foram usados para criar cerca de 150 sistemas de produção representativos em todo o país, que foram simulados com o Modelo de Sistema Agrícola Integrado usando dados locais de solo e clima (ROTZ *et al.*, 2019).

As simulações quantificaram o desempenho e os impactos ambientais dos sistemas de produção de gado de corte para cada região. Uma Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) na porta da fazenda, foi utilizada por Rotz *et al.* (2019) para quantificar o uso de recursos e emissões para todos os sistemas de produção, incluindo raças de corte tradicionais e animais de descarte da indústria de laticínios. Os totais regionais e nacionais foram determinados como a soma dos resultados do sistema de produção multiplicado pelo número de bovinos representados por cada sistema simulado.

Em se tratando dos resultados que abordam a Pegada de Carbono, é notável que a mesma variou, conforme apontam Rotz *et al.* (2019), segundo as diferenças no clima e nas práticas de manejo entre fazendas, ranchos e confinamentos simulados dentro de cada região. Os maiores valores referentes à Emissão de Gás de Efeito Estufa foram encontrados nas regiões leste e centro-oeste, devido à maior precipitação (solos mais úmidos) e maior uso de fertilizantes e calcário nessas regiões. Sendo que as emissões médias de GEE diminuíram quando o gado Holandês foi incluído nas avaliações na porta da fazenda.

Rotz *et al.* (2019) ressaltam que sua pesquisa é o estudo mais detalhado, porém abrangente, realizado até o momento para fornecer medidas básicas para a sustentabilidade da carne bovina dos EUA. E concluem que os dados do estudo fornecem uma linha de base para avaliações futuras e avaliação dos benefícios potenciais das estratégias de mitigação; o que também fornece informações para apoiar uma LCA completa de carne bovina, incluindo embalagem, processamento, marketing e consumo.

Não há indícios claros de lacuna de pesquisa, entretanto, Rotz *et al.* (2019) afirmam que mais trabalhos estão em andamento para concluir a LCA de cadeia completa, para melhor quantificar os alimentos comestíveis humanos consumidos na produção de carne bovina e para avaliar mais plenamente as oportunidades para melhorar a sustentabilidade da carne bovina.

A “*Life Beef Carbon*” é uma iniciativa europeia voluntária que visa reduzir as emissões de GEE por unidade de carne bovina (Pegada de Carbono) em 15% durante um período de 10 anos em 2.172 fazendas em quatro grandes países produtores de carne bovina (O’BRIEN *et al.*, 2020). Nesse contexto, O’Brien *et al.* (2020) buscaram “desenvolver uma estrutura de modelagem comum para estimar a Pegada de Carbono das fazendas de corte”. A estrutura foi desenvolvida para um conjunto diversificado de fazendas da Europa Ocidental localizadas na Irlanda, Espanha, Itália e França. Os modelos de fazenda inteira e avaliação do ciclo de vida

(LCA) foram selecionados para quantificar as emissões de GEE para os diferentes contextos de produção e harmonizados.

Sendo que *Carbon Audit* foi escolhido para a Irlanda, Bovid-CO₂ para Espanha e CAP'2ER para França e Itália. Todos os modelos foram testados usando 20 fazendas de estudo de caso (5 por país) e emissões quantificadas de GEE associadas ao ganho de peso vivo na fazenda (O'BRIEN *et al.*, 2020).

A comparação mostrou que a classificação da Pegada de Carbono bruta dos sistemas de carne bovina foi consistente nos três modelos. Os sistemas de aleitamento ao desmame ou de armazenamento geralmente tiveram a maior Pegada de Carbono, seguido por sistemas de aleitamento a bovinos e sistemas de engorda de bovinos (O'BRIEN *et al.*, 2020).

O'Brien *et al.* (2020) apontam que quando aplicadas à mesma fazenda, as estimativas de Pegada de Carbono da Auditoria foram ligeiramente inferiores ao CAP'2ER, mas marginalmente superiores ao Bovid-CO₂. Várias opções foram identificadas para reduzir a Pegada de Carbono das fazendas de corte, entre elas o melhorando do mérito genético. Essas opções foram avaliadas para sistemas de carne bovina e um plano de mitigação foi criado por cada nação. O efeito cumulativo de mitigação do plano *Life Beef Carbon* foi estimado em exceder a meta de redução do projeto (-15%).

O'Brien *et al.* (2020) fecham o estudo esclarecendo que as ferramentas de modelagem selecionadas fornecem uma estrutura metodológica comum para quantificar as pegadas de carbono da carne bovina, quando aplicadas na (s) nação (s) a que estão adaptadas. Esses modelos capturam o efeito do sistema de fazenda na Pegada de Carbono da carne bovina e a influência das circunstâncias locais de produção, por exemplo, clima e tipo (s) de solo (O'BRIEN *et al.*, 2020). Importante dizer que o efeito de mitigação estimado dos planos de redução da Pegada de Carbono de todas as nações atende à meta *Life Beef Carbon*.

O'Brien *et al.* (2020) não citam claramente lacunas de pesquisa, porém, percebe-se que sua pesquisa terá sequência, pois os autores informam que os planos serão testados em 172 fazendas inovadoras nas quatro nações para determinar o que funciona em fazendas comerciais. Esses resultados serão usados para criar planos de ação para reduzir a Pegada de Carbono da carne bovina em fazendas na Europa Ocidental.

O estudo de Saget *et al.* (2021) é uma afirmação comparativa dos impactos ambientais gerais decorrentes do consumo de Almondegas de Proteína de Ervilha (PPBs) produzidas na Alemanha com Almôndegas de Carne Bovina Convencionais (MBs) produzidas na Alemanha

com carne bovina brasileira (BR) ou irlandesa (IE), contabilizando seus respectivos valores nutricionais. O objetivo foi “avaliar as vantagens e desvantagens relativas dos três produtos, realizando uma LCA atribucional”.

Dessa forma, os resultados da pesquisa evidenciam que, por porção (de 100g), a produção e o consumo de PPB foram associados a menores cargas ambientais em todas as 16 categorias avaliadas. Aquecimento global, acidificação e cargas de uso da terra dos PPBs foram pelo menos 85%, 81% e 89% menores, respectivamente, do que os MBs.

Além disso Saget *et al.* (2021) verificaram que os PPBs têm uma densidade nutricional maior do que os MBs e, portanto, sua pegada ambiental por unidade de nutrição foi consideravelmente menor em todas as 16 categorias de impacto analisadas no estudo. Por unidade de densidade de nutrientes, o aquecimento global, a acidificação e as cargas de uso da terra dos PPBs foram pelo menos 89%, 87% e 93% menores, respectivamente, do que os MBs.

Os resultados específicos sobre Pegada de Carbono e emissões de GEE também foram relatados pelos autores. Com isso, no que se refere aos custos de oportunidade de carbono (COC), Saget *et al.* (2021) apontam que, quando o COC da terra foi contabilizado, a vantagem climática dos PPBs se estendeu bastante. Supondo que MBs equivalentes a apenas 5% do consumo de carne bovina alemã sejam substituídos por PPBs, a economia total de carbono, incluindo COC, pode chegar a 8 milhões de toneladas de CO₂ e, anualmente, uma quantidade igual a 1% das emissões anuais de GEE da Alemanha.

Saget *et al.* (2021) informam que os resultados foram testados com simulações de Monte Carlo e um teste de significância de hipótese nula modificado, que deu suporte aos principais achados. E, concluem que o estudo destaca o potencial dos PPBs para atender aos objetivos de saúde e neutralidade climática. A substituição de almôndegas de carne bovina por almôndegas de proteína de ervilha pode desempenhar um papel importante no caminho para a neutralidade climática e uma economia mais circular. Fechando o estudo sem lacunas de pesquisa.

O trabalho de Mazzetto *et al.* (2022) foi idealizado com o objetivo de “estimar a Pegada de Carbono da carne bovina e ovina produzida na Nova Zelândia e consumida nos principais mercados estrangeiros” nos anos de 2017 e 2018, usando uma metodologia LCA atribucional de acordo com os padrões ISO 14040: 2006 e 14044:2006, além de análises de sensibilidade para avaliar o efeito de diferentes métricas do Potencial de Aquecimento Global (GWP), sequestro de carbono por árvores em fazendas e diferentes métodos de alocação na fase de

processamento. O escopo engloba uma avaliação do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*) da cadeia de valor da carne ovina e bovina da Nova Zelândia para produtos exportados.

Como resultado, Mazzetto *et al.* (2022) verificaram que a Pegada de Carbono do berço à fazenda (*cradle-to-farm*) representou 90-95% do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*) para carne bovina e ovina. Na porteira (não contabilizando a análise de sensibilidade estudada), os resultados da carne bovina foram influenciados pela contribuição da carne bovina leiteira, que apresentou pegada 34% menor que a carne bovina tradicional (8,97 e 6,88 kg CO₂e kg⁻¹PV, respectivamente). Para Potencial de Aquecimento Global (GWP), os valores estimados da pegada foram bem menores.

Os dados nacionais sobre o sequestro líquido de carbono pelas árvores nas fazendas foram significativos e equivaleram a 29% do total de emissões de GEE nas fazendas. A etapa de processamento da carne contribuiu com 2 a 4% da Pegada de Carbono, enquanto o pós-processamento foi de 2 a 6%. Apesar das longas distâncias de transporte envolvidas, a carne bovina e ovina da Nova Zelândia fornecida aos mercados internacionais tem uma Pegada de Carbono de ciclo de vida completo no limite inferior de outras estimativas publicadas.

Em conclusão, Mazzetto *et al.* (2022) reiteram que o estudo de LCA mostrou que a principal emissão de GEE para sistemas de produção de carne bovina e ovina ocorreu dentro do limite “do berço ao portão da fazenda”. E que os resultados apresentados no estudo devem ser tratados com cuidado, pois não há acordo internacional sobre como usar esses fatores nos cálculos da pegada. No mais, não apresentaram lacunas de pesquisa.

Reyes-Palomo *et al.* (2022) realizaram um estudo na Espanha com o intuito de “avaliar a Pegada de Carbono (CF) da carne bovina do sistema extensivo de produção utilizando a metodologia Avaliação do Ciclo de Vida (LCA)”. Foram coletados dados de 15 fazendas extensivas de gado, 6 organicamente (ORG) e 9 convencionalmente (CONV); 4 fazendas tinham suas próprias instalações de engorda, enquanto a maioria das fazendas vendia bezerros para 2 fazendas especializadas em engorda, também estudadas.

As fazendas estavam localizadas no agroecossistema dehesa pertencentes a duas regiões espanholas (Andaluzia e Extremadura) e 4 províncias (Córdoba, Sevilha, Cáceres e Badajoz). Sendo que a recolha de dados foi realizada em 2019.

Reyes-Palomo *et al.* (2022) incluíram no cálculo da Pegada de Carbono o monitoramento de campo do sequestro de C nos solos e biomassa lenhosa em uma seleção de pontos bem conhecidos com estimativas anteriores. O limite do sistema foi "do berço ao

portão", e a unidade funcional foi 1 kg PV de bezerro em idade de abate. Os dados foram obtidos por meio de entrevistas diretas com os agricultores. As pesquisas incluíram questões sobre diferentes aspectos das instalações da fazenda, localização da fazenda, manejo animal, estrutura do rebanho, alimentação animal, insumos externos e dados produtivos. As emissões calculadas foram: CH₄ da fermentação entérica, CH₄ e N₂O do manejo de esterco, N₂O da deposição de excretas nos solos, fornecimento externo de ração e uso de energia e maquinário.

Os principais resultados referem-se às emissões médias de GEE nas fazendas estudadas ($20 \pm 5,96$ kg CO₂ eq kg PV⁻¹), as fontes de emissões (a maior delas foi a fermentação entérica com uma média de $11,82 \pm 2,8$ kg CO₂ eq kg PV⁻¹, seguida dos insumos com $6,45 \pm 3,72$ kg CO₂ eq kg PV⁻¹), e o estoque médio atual de carbono do solo (apresentou grande variabilidade entre os locais).

Reyes-Palomo *et al.* (2022) observam que a inclusão do sequestro de carbono equilibra as emissões; e, em alguns casos, o sequestro de C compensa todas as emissões de GEE e resulta em Pegada de Carbono negativa.

As emissões de CH₄ da fermentação entérica foram a maior fonte isolada de emissões de GEE, independentemente das estratégias de manejo de pastagens. Segundo os autores, esses resultados estão em consonância com outros estudos de LCA sobre produção de carne bovina, entre eles o de McAuliffe *et al.* (2018), que, inclusive, faz parte do escopo da presente revisão.

Em média, os resultados do estudo mostram que os bezerros terminados nas fazendas de dehesa produzem mais GEE do que os terminados em confinamento, mas os autores reforçam que esses resultados não são conclusivos.

Encaminhando-se para o final da pesquisa, Reyes-Palomo *et al.* (2022) reiteram que a LCA é uma metodologia amplamente empregada para o cálculo das emissões de GEE do setor pecuário, mas é importante justificar e documentar todas as escolhas metodológicas, pois estas influenciam muito os resultados, o que dificulta comparações posteriores.

Outro ponto observado foi que os sistemas de agricultura orgânica apresentam Pegada de Carbono numericamente menor do que os sistemas convencionais, principalmente devido às menores emissões associadas aos insumos alimentares.

Para Reyes-Palomo *et al.* (2022), o estudo mostra um papel importante do sequestro de C no balanço de GEE da produção de gado de corte, levando a emissões líquidas negativas em alguns casos. Portanto, a busca por estratégias de manejo para aumentar o potencial de sequestro

de C dos solos além do suposto ponto de saturação pode ser especialmente relevante. Isso mostra uma possível lacuna de pesquisa, ou seja, a necessidade de mais estudos nessa área.

Na pesquisa de Putman *et al.* (2023) para “quantificar os impactos ambientais associados à carne consumida produzida nos Estados Unidos”, os autores observaram que existe a necessidade de uma avaliação do ciclo de vida completo em escala nacional da produção de carne bovina até o consumo nos Estados Unidos. Por isso realizaram uma simulação em nível de processo de sistemas arquetípicos de produção de gado em todo o país, combinada com informações coletadas para colheita, processamento, varejo e consumo de carne bovina para, assim, fornecer dados de inventário para uma avaliação do ciclo de vida do berço ao túmulo.

Um conjunto de 18 categorias de impacto ambiental foi quantificado, e as fontes importantes de cada uma foram identificadas. Como resultado, é possível visualizar que, em 13 das categorias, as principais fontes de impacto foram relacionadas à produção de gado, e para 10 dessas categorias, a produção de gado e fontes relacionadas a montante contribuíram com mais da metade do impacto total (PUTMAN *et al.*, 2023).

Os autores indicam que essas categorias eram material particulado fino, aquecimento global, uso da terra, escassez de recursos minerais, formação de ozônio, esgotamento do ozônio estratosférico, acidificação terrestre e consumo de água. Foi verificado pelos pesquisadores que as categorias em que a maior parte do impacto ocorreu após a porteira (farmgate) foram escassez de recursos fósseis, ecotoxicidade da água doce, eutrofização da água doce, toxicidade carcinogênica humana, toxicidade não carcinogênica humana, radiação ionizante, ecotoxicidade marinha e ecotoxicidade terrestre. Estratégias de mitigação para reduzir esses impactos ambientais são normalmente específicas para a categoria de impacto.

Putman *et al.* (2023) apontam que um grande contribuinte para todas as categorias de impacto foi a perda e o desperdício de alimentos, pois uma redução de 50% no desperdício de alimentos, principalmente por parte do consumidor, resultou em uma redução generalizada de aproximadamente 11% em cada uma das categorias de impacto, o que torna a redução do desperdício de alimentos uma das estratégias mais importantes para melhorar a sustentabilidade ambiental de carne bovina. Nesse contexto, os autores indicam a avaliação realizada no estudo fornece uma linha de base atual para avaliar estratégias de mitigação e medir melhorias futuras em sustentabilidade para a indústria de carne bovina dos EUA, preenchendo, com isso, uma possível lacuna de pesquisa.

Vale ressaltar que, em meio à avaliação presente no estudo de Putman *et al.* (2023), foi medida a Pegada de Carbono média do berço ao túmulo da carne bovina produzida e consumida, a qual resultou em 42,7 kg CO₂e /kg. Diferentes emissões, entre elas de GEE, também foram calculadas usando o Modelo de Sistema Integrado de Fazenda (IFSM), tanto as emissões para o ar [amônia (NH₃), sulfeto de hidrogênio (H₂S), carbonos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOCs), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e dióxido de carbono (CO₂)], quanto as para a água [escoamento de nitrogênio (N) e fósforo (P)]. Nesse aspecto, e de forma resumida, constata-se que, para sistemas pecuários, CH₄ e N₂O junto com CO₂ são os principais compostos que contribuem para o aquecimento global.

A partir da leitura dos 08 artigos, foi possível identificar ações que tiveram efeito nas emissões de GEE foram: manejo do solo (MCAULIFFE *et al.*, 2018), carne produzida a pasto (LYNCH, 2019), diferenças no clima e nas práticas de manejo entre fazendas (ROTZ *et al.*, 2019), melhoramento genético (O'BRIEN *et al.*, 2020), inclusão do sequestro de carbono para equilibrar ou compensar as emissões (REYES-PALOMO *et al.*, 2022), redução do desperdício de alimentos melhorando a sustentabilidade ambiental de carne bovina (PUTMAN *et al.*, 2023) e substituição da carne bovina por proteína de ervilha na produção de almôndegas (SAGET *et al.*, 2021).

4. CONCLUSÃO

A presente pesquisa tem sua relevância, por reunir e apresentar as contribuições de diferentes autores realizadas no período de 2018 a 2023, para com o tema Pegada de Carbono, especialmente quando vistas pela ótica de uma metodologia de avaliação de impacto ambiental, ou seja, Avaliação do Ciclo de Vida.

Na revisão sistemática, foi possível identificar lacunas de pesquisa que podem vir a incentivar novos estudos no tema. Nesse sentido, McAuliffe *et al.*, (2018) indicam que estudos futuros devem investigar as implicações políticas de suas descobertas, incluindo sua aplicabilidade a análises em escala regional e nacional. Para Lynch (2019) é relevante uma maior consciência dos debates em torno das métricas de equivalência de dióxido de carbono, assim como mais atenção deve ser dada à escolha da métrica ou à incorporação de abordagens de modelagem climática quando o assunto é avaliação da emissão de GEE.

Reyes-Palomo *et al.* (2022) acreditam ser necessário mais estudos sobre sequestro de Carbono no balanço de GEE da produção de gado de corte. Por fim, Putman *et al.* (2023)

apontam para a realização de mais estudos voltados à sustentabilidade da indústria de carne bovina, visando, principalmente, avaliar estratégias de mitigação e medir melhorias futuras.

Ao final da presente pesquisa, espera-se contribuir com a ciência, visto que o presente estudo reúne o desenvolvimento científico em relação à Pegada de Carbono da bovinocultura de corte que tenham como base a Avaliação de Ciclo de Vida, estudos estes realizados de 2018 a 2023, e mostra os principais aspectos que os autores consideram relevantes para a mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

REFERÊNCIAS

ARALDI, Daniele. Sustentabilidade na produção da carne bovina: coma carne e salve o planeta! **Agrocampo**. Edição única. P. 02. Publicado em janeiro de 2021. Disponível em <https://revistaagropecampo.com.br/colunistas/sustentabilidade-na-producao-da-carne-bovina-coma-carne-e-salve-o-planeta/>.

ASSAD, Eduardo Delgado; MARTINS, Susian Christian; CORDEIRO, Luiz Adriano Maia; EVANGELISTA, Balbino Antônio. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. Capítulo 11 do livro: **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Embrapa Cerrados. Brasília, DF. Publicado em 2019. P. 153-167. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1113072/sequestro-de-carbono-e-mitigacao-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-pela-adocao-de-sistemas-integrados>.

BRYMAN, Alan. **Social Research Methods**. 4th Edition-Oxford University Press: 2012.

HOEKSTRA, Arjen Y.; CHAPAGAIN, Ashok Kumar; ALDAYA, Maite M.; MEKONNEN, Mesfin M. Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global. **Earthscan**: 2011. 1ª ed. P. 216 Traduzido por Solução Supernova.

LIMA, Magda Aparecida; PRIMAVESI, Odo; PEDREIRA, Márcio dos Santos; DEMARCHI, João José Assumpção de Abreu; BERCHIELLI, Telma Terezinha; OLIVEIRA, Simone; POSSENTI, Rosana. A.; FRIGHETTO, Rosa Toyoko Shiraishi; BERNDT, Alexandre; MANELLA, Marcelo; FRANZOLIN, Raul. Dados de fatores de emissão de metano proveniente da fermentação entérica de gado de corte e de leite no Brasil. In, **Coletânea de Fatores de Emissão e Remoção de Gases de Efeito Estufa da Pecuária Brasileira. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento / MAPA. 1ª ed.** Brasília, 2020. P. 165. Disponível em https://cnabrazil.org.br/assets/arquivos/Miolo_Pecuaria_web_08_12.pdf.

LYNCH, John. Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: **A systematic review**. Environmental Impact Assessment Review Volume 76,. May 2019. Pages 69-78. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.02.003>.

MAZZETTO, Andre Mancebo; FALCONER, Shelley; LEDGARD, Stewart. Carbon footprint

of New Zealand beef and sheep meat exported to different markets. **Environmental Impact Assessment Review**: Volume 98, January 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106946>.

MCAULIFFE, Grahan A; TAKAHASHI, Tadashi; ORR, Robert Jaimie; HARRIS, Paul; LEE, Michael R.F. Distributions of emissions intensity for individual beef cattle reared on pasture-based production systems. **Journal of Cleaner Production**: Volume 171, 10. January 2018. Pages 1672-1680. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.113>.

MURALIKRISHNA, Iyyanki Venkata; MANICKAM, Valli. Environmental Management: **Science and Engineering for Industry**. Chapter Five - Life Cycle Assessment. 2017, Pages 57-75. Available online 27 January 2017, Version of Record 27 January 2017. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/life-cycle-assessment>.

O'BRIEN, Donal; HERRON, Jonathan; ANDURAND, Josselin; CARÉ, Sara; MARTINEZ, Pilar; MIGLIORATI, Luciano; MORO, Matilde; PIRLO, Giacomo; DOLLÉ, Jean Bapfiste. LIFE BEEF CARBON: a common framework for quantifying grass and corn based beef farms' carbon footprints. **Animal**: Volume 14, Issue 4, 2020. Pages 834-845. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731119002519>.

PUTMAN, Ben; ROTZ, C. Alan; THOMA, Greg. A comprehensive environmental assessment of beef production and consumption in the United States. **Journal of Cleaner Production**: Volume 402, 20 May 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136766>.

REYES-PALOMO, Carolina.; AGUILERA, Eduardo; LLORENTE, Mireia; DÍAZ-GAONA Cipriano; MORENO, Gerardo; RODRÍGUEZ-ESTÉVEZ, Vicente. Carbon sequestration offsets a large share of GHG emissions in dehesa cattle production. **Journal of Cleaner Production**: Volume 358, 15 July 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131918>.

ROTZ, C. Alan; ASEM-HIABLIE, Senorpe; PLACE, Sara; THOMA, Greg. Environmental footprints of beef cattle production in the United States. **Agricultural Systems**: Volume 169, February 2019. Pages 1-13. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.005>.

SAGET, Sophie; COSTA, Marcela; SANTOS, Carla Sancho; VASCONCELOS, Marta Wilton; GIBBONS, James; STYLES, David; WILLIAMS, Michael. Substitution of beef with pea protein reduces the environmental footprint of meat balls whilst supporting health and climate stabilisation goals. **Journal of Cleaner Production**: Volume 297, 15 May, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126447>.

SAMPAIO, Rosana Ferreira; MANCINI, Marisa Cotta. Estudos de Revisão Sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Rev. bras. fisioter.**, São Carlos, v. 11, n. 1, jan./fev. 2007. P. 83-89. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbfi/a/79nG9Vvk3syHhnSgY7VsB6jG/?format=pdf&lang=pt>.

USDA, **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos**. Relatório Pecuária e Aves: Mercados e Comércio Mundiais. Julho de 2021. P. 16. Disponível em <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda->



esmis/files/73666448x/9593vs24n/4m90fs46x/livestock_poultry.pdf.

USDA, **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Relatório Pecuária e Aves:** Mercados e Comércio Mundiais. Outubro de 2021. P. 19. Disponível em https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/73666448x/mc87qp52p/fn107x48t/livestock_poultry.pdf.

USDA, **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.** Relatório Estimativas de Oferta e Demanda Agrícola Mundial (WASDE). Relatório Mensal / Abril de 2023. P. 16. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf.

WILLERS, Camila Daniele; RODRIGUES, Luciano Brito; SILVA, Cristiano Alves. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Production**. 23 (2) • Jun 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/drtHRpqTk9hJ3XSZhGD4CHx/>.

ZEN, Sergio; BARIONI, Luis Gustavo; BONATO, Daniela Bachi Bartholomeu; ALMEIDA, Matheus Henrique Scaglia Pacheco; RITTLL, Tatiana Francischielli. Pecuária de corte brasileira: impactos ambientais e emissões de gases efeito estufa (GEE). **CEPEA, ESALQ/USP**: Piracicaba, 20 de maio de 2008. Disponível em <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/documentos/texto/pecuaria-de-corte-brasileira-impactos-ambientais-e-emissoes-de-gases-efeito-estufa-gee.aspx>.