

O MERCADO DE CARBONO E A PRODUÇÃO DE LEITE DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

THE CARBON MARKET AND LOW ENVIRONMENTAL IMPACT MILK PRODUCTION: A SYSTEMATIC REVIEW

Autor(es): Renata Oliveira Silva, Daniela Moreira de Carvalho

Filiação: Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE, UFAPE

E-mail: renataoliveiraagr@gmail.com, daniela.carvalho@ufape.edu.br

GT4. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

A produção leiteira é um importante ramo na cadeia agropecuária nacional; em 2021, representou 4,5% de toda a produção agrícola, estando fortemente associada a impactos ambientais e climáticos severos. A crescente pressão global para a redução nas emissões de GEE é um forte motor de transformação entretanto, a reorganização dos setores produtivos é onerosa, demandando ações conjuntas de diferentes atores ao longo de toda a cadeia produtiva. O mercado de carbono surgiu como uma opção para contrabalancear as imposições de reduções das emissões de GEE, e recompensar financeiramente ações que promovam a descarbonização dos setores produtivos. O objetivo do trabalho é de realizar uma revisão sistemática de literatura sobre o mercado de carbono e a produção de leite bovino nacional de baixo impacto ambiental. Os bancos de dados consultados foram o Scholar Google, Science Direct e Periódicos CAPES. Os critérios foram adotados para a seleção dos artigos foi: i) assunto pertinente ao escopo do trabalho, ii) trabalho científico ou revisão de artigos produzidos no Brasil, iii) produção ou processamento de leite bovino. Devido à ausência de trabalhos que relacionassem ambos os temas diretamente, a revisão incluiu artigos sobre a produção e processamento de leite bovino e seu impacto nas emissões de GEE, ao longo de diferentes etapas. Ao todo, 7 artigos foram selecionados por atenderem a todos os critérios pré-estabelecidos. Face a aparente carência de ligação entre os temas na produção textual científica, duas hipóteses foram levantadas: a) não existem publicações que liguem ambos os temas de forma direta, dentro das limitações estabelecidas na presente pesquisa; b) os descritores selecionados não foram suficientes e efetivos para a varredura atingir o seu objetivo. Em ambos os casos, levantamentos mais extensos e profundos são necessários para a verificação concreta das suposições levantadas por esta revisão sistemática.

Palavras-chave: mercado de emissões; pecuária leiteira; pegada de carbono, meio ambiente, sustentabilidade.

Abstract

Dairy production is an important branch in the national agricultural chain; in 2021, it represented 4.5% of all agricultural production, being strongly associated with severe environmental and climate impacts. The growing global pressure to reduce GHG emissions is a strong driver of transformation and adaptation however, the reorganization of the productive sectors is costly, demanding joint actions from different actors along the entire productive chain. The carbon market emerged as an option to counterbalance the impositions of GHG emission reductions, and financially reward actions that promote the decarbonization of productive sectors. Consequently, the present work proposed to carry out a systematic review associating the carbon market and the production of national bovine milk with low environmental impact. The databases consulted were Scholar Google, Science Direct and Periódicos CAPES. Three criteria were adopted for the selection of articles: i) subject relevant to the scope of the work, ii) scientific work or review of articles produced in Brazil, iii) production or processing of bovine milk. Due to the absence of works that directly relate both themes, the systematic review was conducted addressing articles on the production and processing of bovine milk and its impact on GHG emissions, throughout different stages. In all, 7 articles were selected for meeting all pre-established criteria. Given the apparent lack of connection between the themes in scientific textual production, two hypotheses were raised: a) there are no publications that directly link both themes, within the limitations established in this research; b) the selected descriptors were not sufficient and effective for the scan to reach its objective. In both cases, more extensive and in-depth surveys are needed to concretely verify the assumptions raised by this systematic review.

Key words: emissions market; dairy farming; carbon footprint, *environment and sustainability*.

1. Introdução

A produção global do leite tem apresentado crescimento constante e vigoroso nas últimas décadas juntamente com o aumento da demanda de laticínios, estando este aumento atrelado ao crescimento econômico de países em desenvolvimento e à melhora na distribuição de renda. De acordo com a FAO, em 2019, o Brasil ocupou a 4ª posição no ranking internacional dos maiores produtores de leite, ficando atrás, apenas, da Índia, EUA e Paquistão, demonstrando crescimento médio de cerca de 2% por ano.

A cadeia leiteira bovina nacional é um segmento de grande importância econômica, representando 4,5% de toda a produção agropecuária em 2021 segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sendo responsável por movimentar R\$ 50.108.571.827,00 em valores brutos da produção (VBP), o que o coloca na terceira posição de itens de maior importância em termos de VBP na pecuária. A produção leiteira ultrapassa 34 bilhões de litros anuais, e atualmente, cerca de 4 milhões de empregos estão ligados de forma direta e indireta ao setor.

Silva et al (2022), apontam que os sistemas de produção mais adotados pelos produtores brasileiros, em sua maioria, são o semi-intensivo e o extensivo, que se caracterizam como sistemas de menor investimento agregado. Em ambos os sistemas, a densidade de animais por hectare é significativamente inferior a sistemas confinados, aumentando expressivamente o número de hectares explorados para a manutenção desta atividade, onde a alimentação a pasto se configura como a principal forma de nutrição de bovinos, sobretudo em propriedades de pequeno e médio porte (ZANIN et al., 2015).

Além de implicar na redução da produtividade média por unidade de área explorada, sistemas que demandam grandes áreas para pastejo e lotação baixa, sofrem com a falta de investimentos e manutenção de pastagens. Segundo Segnini et al (2019), a degradação de pastagens é um fator crucial no aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), pois ela intensifica a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, devido a redução do potencial de conversão de CO₂ em fotoassimilados, além de expor o solo a processos de degradação da matéria orgânica que compõem o seu estoque, os exaurindo. O aumento da eficiência dos sistemas de produção na pecuária será essencial para garantir incrementos na produtividade e redução dos impactos ambientais (CAMPOS et al., 2012). Um grande gargalo que compromete a eficiência na produção de gado leiteiro no Brasil, é a falta de manejo reprodutivo, que eleva o tempo de permanência no pasto e ou o volume de ração consumido, devido a redução da eficiência no aproveitamento dos nutrientes ingeridos, e desta maneira, avulta a média da produção de gases por animal.

É bem aceito pela comunidade acadêmica internacional, que uma parte considerável das mudanças climáticas e aumento da frequência de eventos climáticos extremos, se originam a partir de ações antropogênicas. De acordo com Steffen et al. (2015), existem nove processos com os quais a humanidade precisa estar atenta, a fim de que as condições terrestres possam permanecer favoráveis à biodiversidade que possuímos hoje, dentre estes processos, cinco estão diretamente ligados à atividade agropecuária, como resposta a práticas agressivas de manejo ou afetando drasticamente sua produção: mudanças no uso da terra, uso de água potável, fluxos biogeoquímicos de nitrogênio e fósforo, mudanças climáticas e mudanças na biosfera.

Em 2018, 64,2% de todos os gases poluentes emitidos pela agropecuária foram oriundos da fermentação entérica de animais (SEEG BRASIL, 2019), que se formam através da fermentação de carboidratos no rúmen. Os dados coletados pelo IBGE mostraram que no ano de 2020 o rebanho bovino brasileiro era de 218,2 milhões de cabeças, no mesmo ano nos EUA, que se qualificam como os maiores produtores de leite, o rebanho totalizava 93,8 milhões de cabeças de gado. Esta diferença na eficiência produtiva entre ambos os países é ainda mais nítida

com a comparação da produção total de leite em 2020, os EUA produziram 101,2 bilhões de litros e o Brasil 35,4 bilhões de litros de leite.

O processo de transição para sistemas produtivos de baixo carbono, apesar de necessário, apresenta grandes riscos aos produtores, uma vez que os investimentos realizados podem ser onerosos, demandarem tempo de adaptação e emprego de mão de obra qualificada. Embora o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) esteja em vigência, o país ainda não conta com um protocolo nacional unificado e adaptado a diferentes sistemas de condução e biomas para a produção leiteira de baixo impacto ambiental, tornando a efetividade do potencial de sequestro GEE ou mitigação questionável e de difícil mensuração.

Não obstante, entraves éticos também podem desacelerar o processo de descarbonização da pecuária leiteira; o relatório de Brundtland, realizado para a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987, expõe que devido ao custo de transição para modelos econômicos mais sustentáveis, e como os benefícios gerados durante este processo não serão, necessariamente, usufruídos pelas gerações atuais, os incentivos que fomentem esta transição correm riscos de serem relegados como ações menos urgentes.

Apesar da lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009 estabelecer as bases para a criação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões, desde então, o Brasil ainda não conseguiu normatizar efetivamente o mercado de carbono regulado nacional. Além desta dissonância interna, o mercado internacional regulado também não finalizou as negociações sobre o estatuto que traçará as diretrizes para a efetivação do comércio carbono entre países na COP26 e COP27 (26ª e 27ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima), onde ações isoladas de comércio ocorrem apenas entre nações que já possuem regulamentação interna bem estruturada (WAYCARBON, 2021).

No Brasil, a implementação do Plano ABC visava o avanço dos setores agrícola, pecuário e industrial na descarbonização progressiva da produção nacional, através da implementação de medidas e tecnologias que agissem minimizando impactos ambientais, contudo, o mesmo apresentou sérios problemas de governança e efetividade. Na avaliação de Moreira (2020), o Plano ABC falhou na promoção da redução de GEE, além de apresentar limitações quanto a capacitação de agricultores para transformações que promovessem práticas sustentáveis e a economia verde. O autor também relata, que a falta de transparência e constância nos relatórios avaliativos do Plano ABC, comprometeram sua credibilidade, além de expor a falta de fiscalização com as verbas que foram utilizadas, a mensuração do retorno e efetividade das medidas em reduzir as emissões de GEE, bem como a burocracia, falta de clareza nos termos dos projetos e taxas de juros pouco atrativas para a contratação de linhas de crédito verdes.

Outro fator relevante, é o preparo e capacitação de profissionais para lidarem com o processo de transição, adotando medidas que ultrapassem o foco isolado da produtividade, e que possam alinhá-la com as metas voluntárias assumidas pelo Brasil na redução de até 37% das emissões de GEE até 2025. Concomitante ao processo de transição produtiva, a transição econômica para finanças verdes também trará modificações nas relações comerciais e no valor que o mercado estará disposto a oferecer por produtos que, certificadamente, contribuam para a mitigação das ações antrópicas.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo levantar e analisar o estado da arte, ou seja, as publicações relacionadas ao mercado de carbono e pecuária leiteira brasileira de baixo impacto ambiental para analisar a inserção da cadeia leiteira brasileira no mercado de carbono e a adoção de medidas de baixa emissão de carbono.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A Gênese do Mercado de Carbono

Em decorrência da observação de eventos climáticos cada vez mais extremos, e do impacto que a atividade humana exerce sobre estes fatores, a comunidade científica juntamente com a Organização das Nações Unidas (ONU), promoveram diversos fóruns e conferências: Conferência de Toronto sobre as Mudanças Atmosféricas (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, & WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1988), o Primeiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 1990) e a Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre a Mudança de Clima (CQNUMC, 1992) a fim de identificar as principais atividades relacionadas às mudanças climáticas e qual seria o papel das nações na redução do impacto das ações antrópicas.

O protocolo de Kyoto elaborado em 1997 (CQNUMC, 1997) lançou as bases para o estabelecimento de políticas de mercado internacional, desenvolvimento econômico e de infraestrutura de baixo impacto ambiental, através da promoção de reformas em setores altamente poluidores e de grande importância como os de energia e transporte, bem como a proteção ambiental de florestas e demais possíveis sumidouros de carbono, a promoção do uso de fontes energéticas renováveis, a redução das emissões de metano através do gerenciamento de resíduos e sistemas energéticos e a eliminação de mecanismos financeiros e de mercado que prejudicassem os fins da Convenção.

Através da compreensão da disparidade na poluição e no potencial dos sumidouros de carbono em absorver naturalmente parte das emissões, o Protocolo estabeleceu tetos de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para nações em diferentes estágios de desenvolvimento, onde os países desenvolvidos e signatários deveriam se comprometer a reduzir suas emissões de GEE em até 5,2% em média nos anos de 2008 a 2012 se comparados ao ano de 1990 (CQNUMC, 1997).

A fim de evitar duras consequências econômicas oriundas da redução de GEE, o Protocolo de Kyoto também estabeleceu mecanismos compensatórios, chamados de Mecanismos de Flexibilização (MF), que atuam na facilitação de acordos e ações que auxiliem os países signatários a atingirem suas metas de redução através da cooperação (CQNUMC, 1997). Um importante MF é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que associado ao Comércio de Emissões (CE), permite que um país em desenvolvimento, que não possui metas de redução de GEE, possa, através da adoção de práticas sustentáveis, com redução ou absorção de GEE, emitir créditos de carbono.

Devido a entraves políticos na implementação das medidas que assegurariam as reduções nas emissões de GEE, especialmente em países altamente industrializados (OLIVEIRA, 2021), em 2015 o Protocolo de Kyoto foi substituído pelo Acordo de Paris. Este ajuste na rota dos acordos multilaterais retirou a imposição de metas fixas para cada país, determinadas previamente de forma coletiva, dando lugar as contribuições nacionalmente determinadas (NDC), onde cada nação manifesta suas metas de redução, objetivando contribuir para a manutenção do aumento da temperatura global, a fim de que seu valor fique abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais.

De acordo com a WayCarbon (2021), empresa brasileira que atua no assessoramento em mudanças globais do clima e economia de baixo carbono, a COP26 (26.ª conferência das partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima) foi crucial para a conclusão do livro de regras do Acordo de Paris, através da negociação dos termos do artigo 6, que tratam diretamente das regras que irão lastrear o mercado de carbono global.

2.2. Dinâmica e Estrutura do Mercado de Carbono

Segundo Peters, Stanley e Yin (2013), o Mercado de Carbono se caracteriza como a

compra e venda de licenças para emissões ou reduções de GEE, que é realizado entre empresas e organizações que conseguem certificar suas reduções e as demais que não atingem as metas estabelecidas, gerando um balanço de carbono negativo. Este mercado se demonstra de fundamental importância no que diz respeito às políticas de redução de emissões dos GEE, pela forma que se desenvolve e por estar inserido em um novo contexto de mecanismos de proteção ambiental (DUARTE; TUPIASSU e CRUZ, 2020).

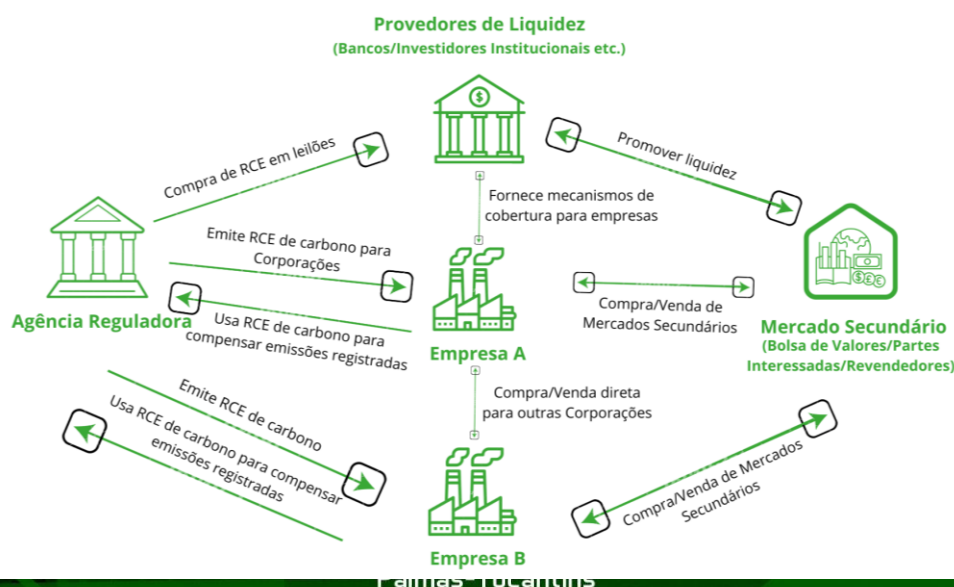
Os créditos de carbono, também conhecidos como Reduções Certificadas de Emissões (RCE), se caracterizam como certificados eletrônicos concedidos mediante a comprovação de reduções na emissão de GEE, sendo considerados como *commodity* no mercado financeiro. O valor unitário de cada crédito representa uma tonelada de CO₂ que foi retirada da atmosfera ou que foi evitada, e para demais gases poluentes é considerado o volume necessário dos mesmos para impactarem de forma equivalente a um volume determinado de dióxido de carbono (carbono equivalente) (MENEGUIN, 2012).

Como alternativa aos empecilhos impostos pelo Protocolo de Kyoto, que determinou o primeiro conjunto de diretrizes para regulamentação do mercado oficial de carbono, mercados voluntários emergiram, a fim de incluir setores que não foram abarcados no acordo inicial e países que não possuem metas de redução de GEE estabelecidas, onde tais créditos não são contabilizados no balanço oficial de metas. Segundo Carvalho e Pierre (2019), o mercado voluntário possui grande potencial de investimentos, haja visto sua menor burocracia e mercado mais amplo, pois o mesmo contempla diferentes projetos e áreas, permanecendo em alinhamento com a compensação ou redução de emissões.

Os três principais desafios do mercado voluntário são: estabelecimento de uma metodologia com parâmetros universais para selecionar projetos eficazes nas reduções de GEE; confiabilidade no processo de monitoramento das reduções; legislação clara que permita eficiência do mercado financeiro em lidar com direitos de propriedade das RCE (GILLENWATER et al., 2007). O mercado voluntário também inclui programas que vão além da comercialização de emissões, como o VCS (Verified Carbon Standard), para a certificação e padronização das emissões de GEE, além de projetos de mitigação; o fundo de investimentos da bolsa de Nova Iorque para créditos de carbono - KFA Global Carbon ETF; e a agenda de incentivos econômicos para países em desenvolvimento REDD+, que atua diretamente nas RCE provenientes de degradação florestal e desmatamento.

As estruturas dos mercados regulamentado ou doméstico e voluntário divergem em alguns aspectos (fig. 01 e fig. 02). Ambos seguem as premissas acordadas e desenvolvidas em comum acordo entre os diferentes países e atores do cenário climático-financeiro, a fim de garantir a confiabilidade no processo de emissão e validação de RCE, e do financiamento de projetos com retornos palpáveis e mensuráveis.

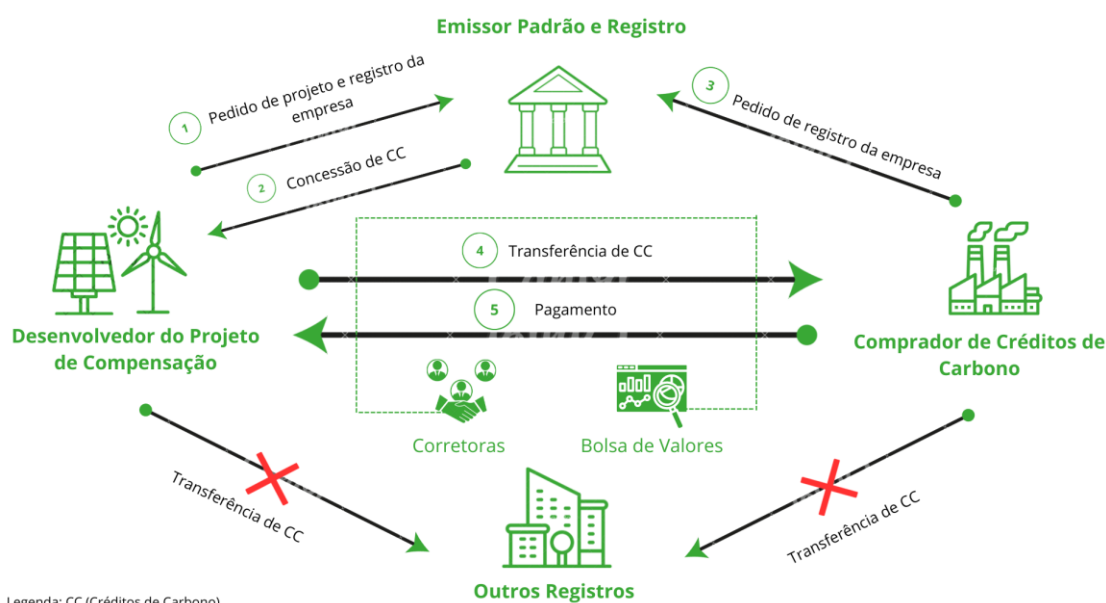
Figura 01. Dinâmica do mercado regulamentado e doméstico.



Fonte: Adaptado de MSCI (2022). Legenda: RCE: Reduções Certificadas de Emissões.

Contrastante ao mercado regulamentado, o mercado voluntário não está ligado diretamente a uma agência reguladora, mas a um emissor que registra e garante a padronização das transações e ferramentas de avaliação do cumprimento das normas estabelecidas pelo órgão financiador. Dentro deste panorama, não existem limitações de emissões de GEE, segundo Hamrick & Gallant (2017), contrariamente ao mercado doméstico, que é subordinado às metas assumidas por cada país.

Figura 02. Dinâmica do mercado voluntário.



Fonte: Adaptado de EY (Ernst & Young Global Limited) (2021).

Em análise sobre a COP27 e seus possíveis desdobramentos, Osório e Lefèvre (2022), destacam a importância dos instrumentos de mercado para a obtenção das metas desejadas. De acordo com os autores, o artigo 6.4 do livro de regras do Acordo de Paris, que trata especificamente do mercado de carbono, tais instrumentos possuem natureza custo-efetiva, pois possibilitam o alcance de um objetivo a custo reduzido através do direcionamento de fundos em pontos estratégicos de menor custo.

O Plano Nacional de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), é regulamentado pelo decreto Nº 7390/2010 (BARROS, 2020), sendo este composto por sete programas distintos: 1) Recuperação de Pastagens Degradadas; 2) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs); 3) Sistema Plantio Direto (SPD); 4) Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN); 5) Florestas Plantadas; 6) Tratamento de Dejetos Animais; e, 7) Adaptação a Mudanças Climáticas. Apesar da lei nº 12.187 de 29 de dezembro 2009, estabelecer as diretrizes para a criação de sistemas de compensação de GEE e do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões, o Brasil ainda não incluiu tais medidas na sua política climática (OSÓRIO e LEFÈVRE, 2022).

Agropecuária Leiteira de Baixo Impacto Ambiental

O Brasil ocupou a terceira posição em 2019 no ranking internacional de maiores emissores de GEE oriundos de atividades pré e pós industriais do setor agropecuário (TUBIELLO et al, 2021), e de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças

Climáticas (IPCC), cerca de 13,5% de todas as emissões anuais de carbono equivalente no mundo são provenientes do setor agrícola. No Brasil, o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), estima que a agropecuária, em detrimento dos demais setores, contribui com 76% das emissões de metano nacional, gás com potencial poluente 25 vezes maior do que o CO₂.

Análises sobre o aquecimento global demonstram que os bovinos, vistos de forma isolada, de fato possuem papel relevante na emissão de GEE (EMBRAPA, 2016). Tal posição de destaque está intimamente ligada ao processo digestivo dos ruminantes, que para quebra das moléculas de celulose desenvolveram a capacidade de fermentação entérica do alimento ingerido, gerando consequentemente, a produção de gás metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O), expelidos através da eructação e de seus excrementos, e que possuem grande potencial de agravar o aquecimento da atmosfera.

Os sistemas de produção leiteiro a pasto podem contribuir com a mitigação de GEE de duas formas distintas, segundo a EMBRAPA (2016), primeiramente através do valor nutricional que ela pode aportar na dieta dos bovinos, pois uma vez que bem manejada, a pastagem fornecerá uma parte considerável dos nutrientes necessários, e em consequência, reduzirá os gastos na aquisição de grãos, e em segundo plano, a cobertura vegetal protegerá o solo, além de sequestrar carbono para a produção de matéria fresca e posterior acúmulo de matéria orgânica no solo.

A adoção da Integração Lavoura, Pecuária e Floresta (ILPF) também pode ser uma alternativa para sistemas leiteiros de baixo carbono, principalmente em zonas onde a qualidade da pastagem, mesmo que bem manejada, fique aquém do aporte nutricional esperado, elevando a eficiência de produção e a diversificação dentro do sistema produtivo. O sistema ILPF tem grande potencial de armazenar carbono por meio da estocagem no solo e nas árvores e consequentemente mitigar as emissões dos GEE (PULROLNIK et al., 2021).

Diversos estudos comprovam que a alimentação do rebanho também é um fator que pode aumentar ou reduzir a produção de GEE (ROQUE et al., 2019; FENG e KEBREAB, 2020; RIBEIRO FILHO et al., 2020). Segundo o levantamento realizado pela Rede Pecus, que estuda a dinâmica dos GEE em diferentes sistemas agropecuários inseridos nos seis biomas nacionais, a melhora na nutrição bovina é capaz de reduzir a produção de metano no rúmen, como também pode promover melhores taxas de lactação e demais índices zootécnicos, e reduzindo a relação de emissão de CH₄ por litro de leite produzido (EMBRAPA, 2016). O mapeamento da emissão de GEE na pecuária realizado pela Rede Pecus nos mais distintos biomas nacionais e sistemas de produção, revelou que a produtores que conseguiram implementar práticas e tecnologias que reduzam as emissões, ou que sequestram carbono, obtiveram ganhos de produtividade até quatro vezes superior a sistemas extensivos convencionais ou com pastagens degradadas (EMBRAPA, 2016).

A produção leiteira de baixo carbono já é uma realidade para alguns países, tendo a Nova Zelândia como líder com a menor pegada de carbono por quilo de gordura e leite com correção de proteína produzido, de acordo com Mazzetto, Falconer & Ledgard (2021), em análise de 55% da produção global de leite, correspondente a produção total de 18 países. O levantamento realizado por Seó et al. (2017) sobre o ciclo de vida na produção leiteira do Brasil, constatou que ao longo de toda a cadeia produtiva a produção dentro da fazenda concentra as maiores emissões de GEE, tornando-a um ponto crítico para a redução nos impactos ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho se caracteriza como uma revisão bibliográfica sistemática sobre o mercado de carbono e sua relação com a pecuária leiteira no Brasil. O levantamento de dados secundários foi realizado nas plataformas Google Scholar, Scielo e Periódicos CAPES através de uma varredura de publicações relacionadas à área de estudo, como descrito por Bardin

(2016).

Devido ao baixo volume de trabalhos publicados nessa área em específico, a revisão sistemática permite um esforço direcionado no levantamento de dados sobre o tema. A busca foi realizada por publicações em língua portuguesa e inglesa, no período de outubro a novembro de 2022. Para um melhor rastreio de materiais nessa área os termos da procura foram amplos, tais como: crédito de carbono, mercado de carbono, pecuária leiteira, bovinocultura leiteira, pegada de carbono, produção de leite, títulos verdes, cadeia produtiva do leite, cadeia de produtos lácteos, bovinocultura de leite, leite de baixo carbono, agronegócio do leite, produção leiteira, fazendas leiteiras e Brasil, bem como seus homólogos na língua inglesa. Os cruzamentos das palavras chaves foram realizados com o auxílio de caracteres booleanos.

A varredura dos artigos foi iniciada na plataforma do Google Scholar utilizando os descritores na língua portuguesa (tabela 02). Devido à baixa seletividade da plataforma, haja visto que a mesma contabiliza e retorna todas as entradas detectadas em repositórios, revistas, fóruns, blogs e páginas de internet, apenas as combinações das palavras-chave não foram suficientes para rastrear de forma eficaz o material de interesse. Para contornar esse entrave, a ferramenta "allintitle" (*all in title*, em tradução literal para o português: tudo no título) foi utilizada. Ela permite reduzir o número de entradas, pois adiciona a condição de que uma ou mais palavras chaves estejam presentes no título do artigo, publicação ou página. Entretanto, a ferramenta demonstrou que o cruzamento das palavras-chave não figurava em títulos de entradas. A fim de diminuir e refinar a pesquisa, o caractere booleano "-" (menos) foi adicionado. Ele condiciona que as entradas conterão em seus textos os descritores de interesse, sem conter um ou mais termos selecionados que avultam o número de entradas e dificultam a precisão da pesquisa. Apesar da aplicação conseguir reduzir significativamente as entradas resultantes da pesquisa, o volume de dados ainda era muito superior e não apresentava entradas com temáticas relevantes ao trabalho.

Tabela 02. Quantitativo de entradas por Combinações de palavras-chave no Google Scholar entre 2000 e 2022.

Palavras-chave	Resultados	Data	Tipo
Mercado de carbono	626	25/10	allintitle
Mercado de carbono; Pecuária leiteira	0	25/10	allintitle
Mercado de carbono; Pecuária leiteira	5370	25/10	
Mercado de carbono; Bovinocultura leiteira	0	25/10	allintitle
Mercado de carbono; Bovinocultura leiteira	1790	25/10	
Mercado de carbono; Pecuária leiteira brasileira	0	25/10	allintitle
Mercado de carbono; Pecuária leiteira brasileira	9020	25/10	
Mercado de carbono; Bovinocultura leiteira brasileira	0	25/10	allintitle
Mercado de carbono; Bovinocultura leiteira -biodigestor, -biodigestores, -dejetos, -suínos	801	03/11	
Mercado de carbono; Bovinocultura leiteira -solo -ensilagem -biodigestor -biodigestores -dejetos -suínos -etanol -biocombustível -bioetanol -doença -inseminação -alimentação	16	03/11	
Pegada de carbono leite -restaurante -turismo -turísticas -bolo -bubalino -bubalinos -fertilidade -ensilagem -sorgo -milho -fruta -fruticultura -tomate	1300	03/11	

Por se tratar de uma revisão sistemática, a especificidade da plataforma é de extrema importância para a qualidade dos resultados. Levando em consideração que o número de publicações em português possui volume inferior às publicações em inglês, por tratar-se do idioma mais utilizado na divulgação científica, e que mesmo com descritores em português o número de entradas era muito elevado, dificultando o tratamento adequado das entradas, a plataforma do Google Scholar foi desconsiderada.

Na plataforma Scielo (tabela 03), para a combinação das palavras-chave o caractere booleano *AND* (em português “E”) foi utilizado. Tal ferramenta condiciona que o retorno da pesquisa componha a interseção entre dois ou mais descritores, ou seja, entradas que possuam em seus textos a combinação das palavras-chave desejadas. Apenas dois conjuntos de palavras obtiveram retorno Pegada de carbono *AND* Produção de leite, e seu homólogo em inglês *Carbon footprint AND Milk production* acrescido de *AND Brazil*. Em ambos os casos a entrada se referia ao mesmo artigo.

Tabela 03. Quantitativo de entradas por combinações de palavras-chave no Scielo entre 2000 e 2022.

Palavras-chave	Resultados	Data
Títulos verdes	0	28/10
Mercado de carbono	0	28/10
Pegada de carbono AND Produção de leite	1	28/10
Plano ABC AND Pecuária leiteira	0	28/10
Carbon footprint AND Milk production AND Brazil	1	28/10
Carbon market AND Milk production AND Brazil	0	28/10
Carbon market AND Dairy industry AND Brazil	0	28/10
Green bonds AND Dairy industry AND Brazil	0	28/10
Green bonds AND Milk production AND Brazil	0	28/10

Fonte: dados da pesquisa, elaborado pelas autoras.

Similarmente a plataforma Scielo, os Periódicos CAPES (tabela 04) apresenta melhor refinamento de pesquisa, por conterem em suas entradas apenas repositórios de bibliotecas de universidades e institutos de pesquisa, bem como periódicos técnicos e científicos, conferindo maior acuidade na varredura. Neste banco de dados, os descritores em português não resultaram em entradas, portanto, a pesquisa foi realizada com as palavras-chave no idioma inglês. Para a junção dos descritores, o caractere booleano *AND* também foi utilizado.

Tabela 04. Quantitativo de entradas por combinações de palavras-chave nos Periódicos CAPES entre 2000 e 2022.

Palavras-chave	Resultados	Data
Mercado de carbono	0	05/11
Plano ABC AND Pecuária leiteira	0	05/11
Carbon footprint AND Milk production AND Brazil	35	05/11
Carbon market AND Milk production AND Brazil	12	05/11
Carbon market AND Dairy industry AND Brazil	11	05/11
Green bonds AND Dairy industry AND Brazil	0	05/11
Green bonds AND Milk production AND Brazil	0	05/11

Fonte: dados da pesquisa, elaborado pelas autoras.

Em todas as plataformas consultadas, as combinações de “mercado de carbono” e “pecuária leiteira”, juntamente com seus sinônimos e homólogos na língua inglesa, não obtiveram entradas que se alinhassem com o escopo do presente trabalho. Portanto, foram analisados artigos que se relacionassem com a produção e processamento de leite bovino e seu impacto ambiental. Os títulos dos artigos foram tabulados, juntamente com demais informações relevantes, totalizando 59 publicações. A triagem dos artigos foi realizada após a leitura do título e ou resumo de cada trabalho, seguindo os seguintes critérios: i) assunto pertinente ao escopo do trabalho, ii) trabalho científico ou revisão de artigos produzidos no Brasil, iii) produção ou processamento de leite bovino. Após a aplicação de tais critérios, apenas 7 artigos foram selecionados (tabela 05).

Tabela 05. Artigos selecionados para a revisão sistemática.

Artigo	Autores	Ano	Categoria	Idioma
Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study	Léis et al.	2015	Artigo Científico	IN
Avaliação comparativa da pegada de carbono de margarina e manteiga produzidas no Sul do Brasil	Campos et al.	2019	Artigo Técnico	PT
Potential to reduce greenhouse gas emissions through different dairy cattle systems in subtropical regions	Ribeiro-Filho, Civiero & Kebreab	2020	Artigo Científico	IN
Environmental life cycle assessment of cow milk in a conventional semi-intensive Brazilian production system	Carvalho et al.	2022	Artigo Científico + Revisão Bibliográfica	IN
Carbon footprint and mitigation strategies among heterogeneous dairy farms in Paraná, Brazil	Vogel & Beber	2022	Artigo Científico	IN
Life Cycle Assessment of Dairy Products: A Case Study of a Dairy Factory in Brazil	Santos et al.	2022	Artigo Científico	IN
Greenhouse gas balance and mitigation of pasture-based dairy production systems in the	Oliveira et al.	2022	Artigo Científico	IN

A coletânea de artigos aborda os principais temas que impactam as emissões de GEE na produção e processamento de leite bovino (manejo genético, nutrição, implantação de sistemas silvopastoris, gestão, implementação de políticas públicas, sistemas de produção e logística produtiva), além de avaliaram diferentes elos da cadeia produtiva.

DISCUSSÃO

Mercado de carbono *versus* Produção leiteira de baixo impacto

A ausência de trabalhos que correlatem as perspectivas de associação entre a produção de leite bovino e o mercado de carbono, foram flagrantes durante o levantamento bibliográfico. Neste caso, é possível estabelecer duas premissas: a) não existem publicações que liguem ambos os temas de forma direta, dentro das limitações estabelecidas na presente pesquisa; b) os descritores selecionados não foram suficientes e efetivos para a varredura atingir o seu objetivo.

Estratégias para a descarbonização da produção leiteira são abordadas em diversos estudos, em diferentes países e sob óticas distintas (JAYASUNDARA et al., 2019; PIRLO e LOLLI, 2019; GISLON et al., 2020; WILKES et al., 2020; HUANG et al., 2021; SCHETTINI et al., 2021). Apesar da urgência que a atual condição climática impõe ao modo de produção e processamento de leite, numerosos gargalos se contrapõem, principalmente à viabilidade operacional de fazendas leiteiras diante de ajustes que reduzam as emissões de GEE (MORAES et al., 2012).

Em um possível cenário de políticas restritivas às emissões de GEE, ou implementação de políticas de mitigação, a visão que os produtores leiteiros possuem de tais práticas e sua efetividade, é um ponto não negligenciável. O levantamento realizado por Puupponen et al. (2022) com produtores de leite finlandeses associados a uma cooperativa, sobre a percepção de justiça quanto a transição para uma agropecuária de carbono neutro, demonstrou que os fazendeiros possuem uma boa percepção das práticas que reduzem as emissões de GEE, por estarem associadas a reduções de custos em sistemas produtivos finlandeses. Entretanto, Puupponen et al. (2022), observaram um sentimento coletivo de vulnerabilidade dos produtores face aos demais elos da cadeia produtiva. Esta vulnerabilidade estaria associada a menor margem de lucros observada dentro do sistema produtivo em si.

Em um estudo sobre a percepção de produtores leiteiros, no estado de Goiás, sobre a implementação do Plano ABC, em especial a implementação de sistemas ILPF, Barros (2020), documentam uma boa percepção do aspecto econômico, por parte dos produtores. Os produtores apresentaram uma visão positiva quanto à diversificação da produção da fazenda, dos impactos sociais e ambientais, afirmando que a integração de tais políticas aumenta a competitividade internacional dos produtores leiteiros. Todavia, 82% dos produtores indicaram que não há clareza quanto às opções de linhas de crédito disponíveis para aderentes do Plano ABC. Segundo Damasceno e Miranda (2022), a linha de crédito disponível para o setor da agropecuária dentro Programa ABC é o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono, que se alinha a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187/2009). Na apresentação do histórico da precificação de carbono na agropecuária brasileira, os autores evidenciam que a dificuldade em implementar políticas de taxação de emissões, ou de permissões de emissões, está provavelmente ligada a complexidade da produção agrícola em uma esfera global (facetas socioeconômica, política, geográfica e tecnológica).

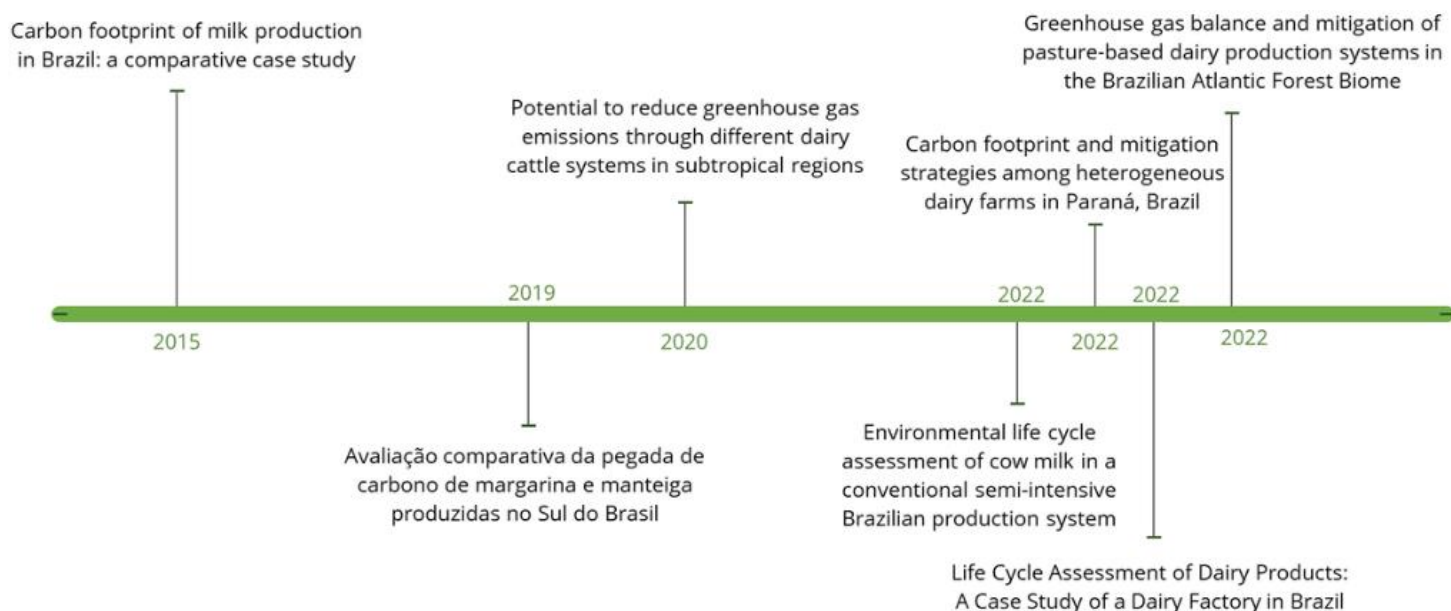
Revisão Sistemática

O primeiro artigo que se enquadra nos critérios impostos pela pesquisa foi publicado em

2015 por Léis et al. (fig. 05), abordando a pegada de carbono (PC) da produção leiteira como marcador principal das emissões de GEE, e do impacto ambiental. A análise da pegada de carbono também foi observada no trabalho de Campos et al. (2019), bem como Vogel & Beber (2022). Esta medida, expressa as emissões de GEE em carbono equivalente, produzidas para a obtenção de um produto, através das suas distintas etapas de produção e matéria prima necessárias para sua fabricação (WIEDMANN & MINX, 2008; PANDEY, AGRAWAL & PANDEY, 2011). Apesar da grande discrepância entre as definições de PC (WIEDMANN & MINX, 2008), várias metodologias foram desenvolvidas para sua análise, variando principalmente os critérios de alocação do carbono equivalente, tais como IPCC (2006), PAS2050 (BSI, 2008) e o protocolo de GEE (WRI WBCSD, 2011). Léis e autores (2015) destacam as metodologias elaboradas pela FAO (2010), e IDF (2010), que estão em concordância com os parâmetros da ISO, como específicas para a análise de produtos oriundos da cadeia leiteira.

Léis et al., (2015) foram os primeiros pesquisadores, a nível nacional, a estabelecerem valores de PC por kg de leite com energia corrigida (*Energy Corrected Milk* ou ECM). A análise dos sistemas semiconfinado ($0,78 - 1,06 \text{ kg CO}_2\text{e kg ECM}^{-1}$), pastagem ($0,74 - 1,01 \text{ kg CO}_2\text{e kg ECM}^{-1}$) e confinado ($0,54 - 0,78 \text{ kg CO}_2\text{e kg ECM}^{-1}$) dos autores, demonstrou menores valores de PC para o manejo confinado. Este resultado, estaria associado a diluição da PC por hectare e animal, em razão da maior taxa de lotação. Os autores também destacam, que qualquer generalização dos resultados deve ser realizada levando em consideração os diferentes níveis de tecnificação, bioma e região do ambiente de estudo. Paralelamente, Ribeiro-Filho, Civiero & Kebreab (2020) sugerem que a diminuição da PC e aumento da produção de leite não são necessariamente lineares. Medidas como a melhora do potencial genético e aumento da concentração de concentrado na alimentação do gado leiteiro, podem elevar os riscos da saúde animal e bem estar, podendo elevar a longo prazo a PC do sistema de produção.

Figura 05. Linha do tempo das publicações selecionadas.

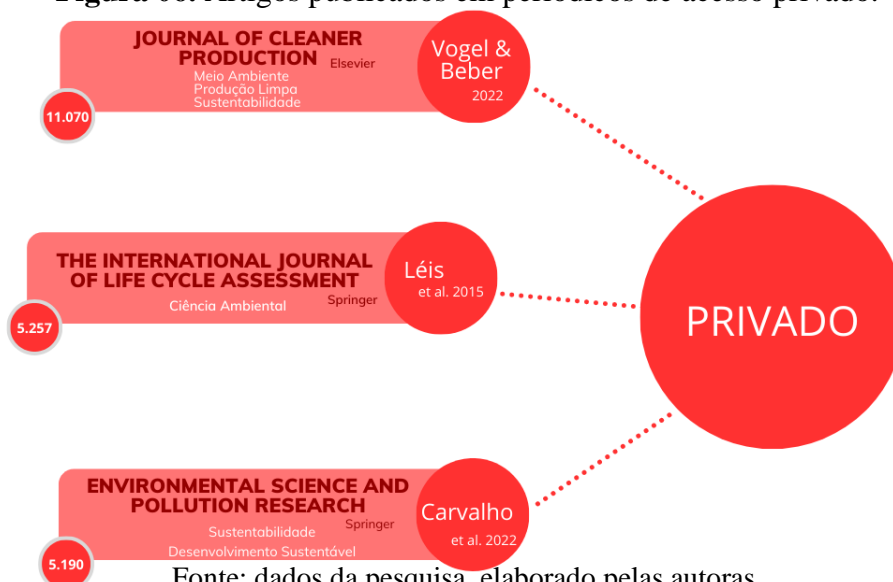


Aliada à medição da PC, a avaliação do ciclo de vida (LCA, da sigla em inglês, *Life Cycle Assessment*), também foi uma importante ferramenta na medição dos impactos ambientais na produção e processamento de leite dos estudos avaliados. Em concordância com o demonstrado por Campos et al. (2019), esta análise consiste no levantamento sistematizado de todo o consumo energético, de matéria prima, combustíveis fósseis e impacto ambiental ligados ao processo produtivo, incluindo maquinário, edificações e deslocamento.

Com o auxílio de plataformas para a alimentação de dados e softwares para o cálculo,

a expressão final da LCA resulta no valor em quilogramas ou toneladas de carbono equivalente emitidos por cada unidade final de produto, área, animal ou objeto de estudo avaliado ao longo de todo o seu ciclo de vida (LÉIS et al., 2015). A utilização da LCA na avaliação do impacto ambiental da cadeia leiteira é amplamente documentado no meio acadêmico (LÉIS et al., 2015; CARVALHO et al., 2022; SANTOS et al., 2022). Sua importância é tamanha, que a revista *The International Journal of Life Cycle Assessment* (A Revista Internacional de Análise do Ciclo de Vida, em tradução literal) (fig. 06), dedica-se exclusivamente a publicar trabalhos que utilizem este método de análise. Dentro dos artigos avaliados, apenas Oliveira et al., (2022) não fez uso desta análise.

Figura 06. Artigos publicados em periódicos de acesso privado.

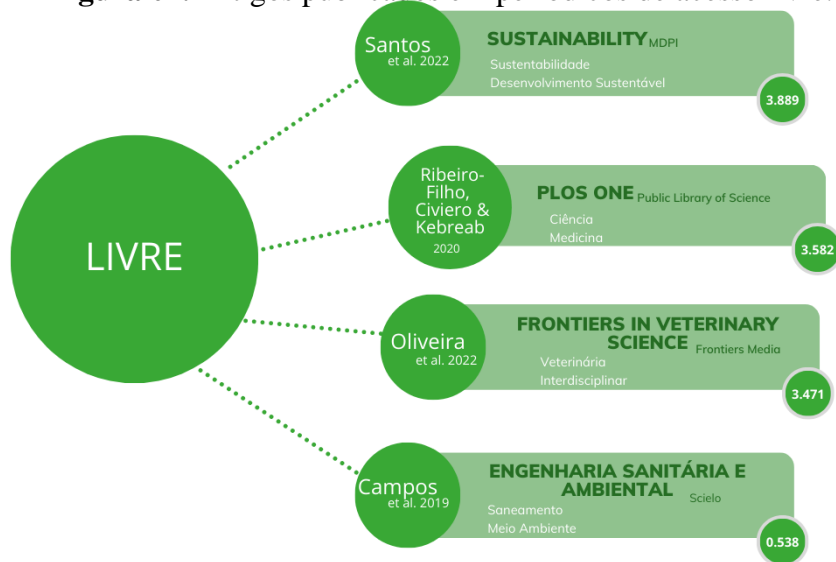


Fonte: dados da pesquisa, elaborado pelas autoras.

Na visão de Santos et al. (2022), o inventário Ecoinvent, utilizado como fonte de dados para a análise do LCA, pode gerar distorções nos números observados. Esta distorção é proveniente da falta de dados produzidos em território nacional, que possam servir de parâmetro para as diversas regiões e estados nacionais. Os autores também mencionam uma disformidade quanto aos valores da análise de LCA e possíveis comparações entre estudos, com tais discrepâncias estando ligadas aos critérios de alocação de dados, que podem ser realizados de forma causal para produtos e processos multifuncionais ou pelo conteúdo de sólidos do leite.

De modo geral, é possível observar que as publicações avaliadas são publicadas em revistas que gravitam em torno do estudo do meio ambiente, e tecnologias que diminuem o impacto antrópico ambiental. As exceções para esta observação são os artigos de Ribeiro-Filho, Civiero & Kebreab (2020) e Oliveira (2022), que publicaram seus artigos em revistas de escopos bem mais generalistas e descentralizados da questão ambiental (fig. 07)

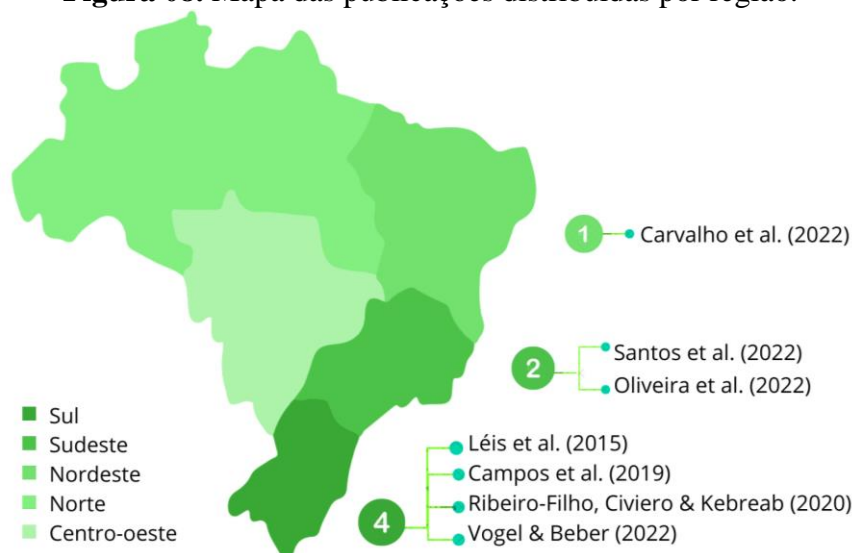
Figura 07. Artigos publicados em periódicos de acesso livre.



De acordo com Vogel & Beber (2022), ao utilizar a LCA, os pesquisadores passam a adotar duas posições distintas: a análise profunda e extensiva de diversos parâmetros dentro do sistema produtivo, recorrendo principalmente ao levantamento de dados diretamente com o produtor; ou na realização de levantamentos em bancos de dados de órgãos competentes, que não foram projetados para atenderem especificamente as necessidades da LCA.

Os artigos selecionados representam estudos conduzidos apenas em três regiões de toda a confederação (fig. 08), com quatro estudos realizados na região Sul, dois na região Sudeste e um na região Nordeste. Vogel & Beber (2022), salientam a importância do estudo da heterogeneidade dos produtores de leite dentro de cada estado e bioma, levando em consideração o nível de tecnificação e porte da propriedade.

Figura 08. Mapa das publicações distribuídas por região.



Fonte: dados da pesquisa, elaborado pelas autoras.

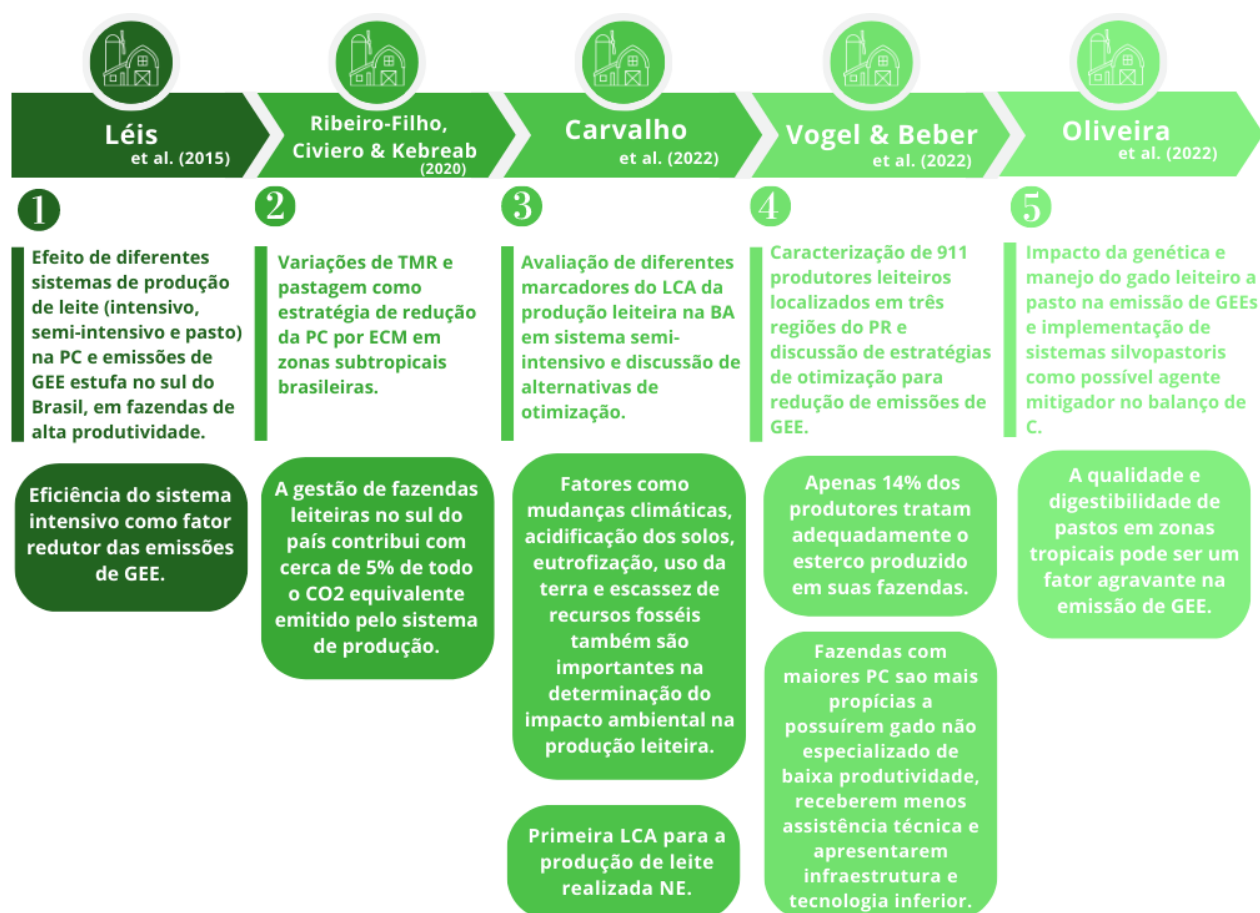
A cadeia produtiva do leite se destrincha em cinco setores: fornecimento de insumos, produção de leite, indústria, distribuidor e consumidor (BRUM; KELM & ALBORNOZ, 2014). O trabalho sinérgico de todos estes atores depende principalmente da dinâmica e produção adotadas até a porteira. Na coleção de estudos avaliados, cinco artigos se dedicaram a estudar o sistema produtivo, avaliando diferentes aspectos da produção leiteira. As figuras 09 e 10 resumem de forma sucinta as principais inovações aferidas e propostas por cada artigo em função dos diferentes objetos de estudo (sistema produtivo ou avaliação conjunta de diversos pontos da cadeia produtiva).

Inicialmente Léis e colaboradores (2015) observando o aumento da PC para sistemas a pasto, foi associado ao aumento da utilização da soja como complemento a ração do gado leiteiro. De acordo com os autores, o fator de impacto nos cálculos da LCA deste grão é superior ao milho, algodão e cevada, por não se tratar de uma cultura sucessiva, com duas safras possíveis no Brasil. Os autores também pontuaram a importância do progresso em estudos sobre a eficiência na conversão alimentar bovina como fator chave para uma produção leiteira eficiente.

Em condições subtropicais, Ribeiro-Filho, Civiero & Kebreab (2020), aferiram que a redução de ingestão de *Total Mixed Ration* (TMR, em português “Ração Total Mista”) e o aumento do consumo de pastagem apresenta um forte potencial para estabilizar ou reduzir a PC de carbono a uma pequena extensão. O conteúdo nutricional da pastagem ofertada, e o seu

manejo são fatores capitais que impactam a digestibilidade e a liberação de gases durante a fermentação entérica.

Figura 09. Tema e contribuição principal para os artigos que avaliaram o elo fazenda.



Fonte: dados da pesquisa, elaborado pelas autoras.

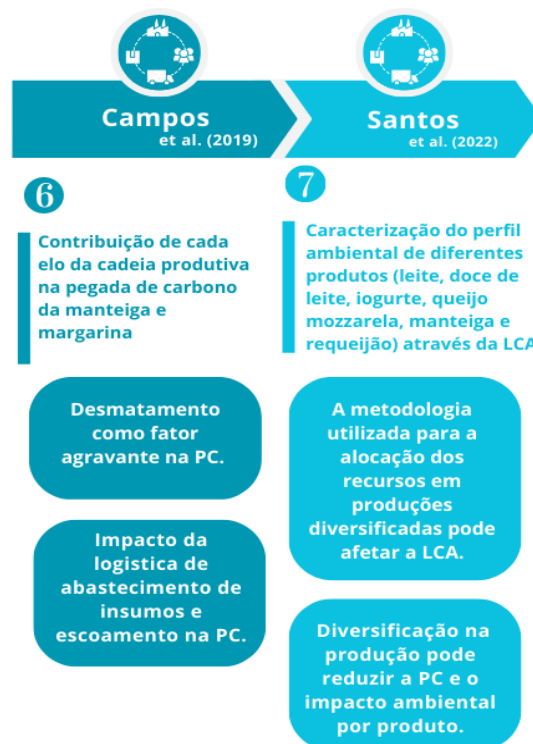
O impacto ambiental da produção de leite bovino nas mudanças climáticas aferido por Carvalho e autores (2022), é de 1,41 kg CO₂-eq/kg de leite com gordura e proteína corrigidos. Segundo demonstrado no estudo, 65,7 % do impacto das mudanças climáticas está relacionado à criação de gado, associados a 24,3% oriundos da produção de pasto e 7,4% da produção de silagem. Os pesquisadores também conseguiram relacionar a emissão entérica de metano as taxas de deposição de nitrogênio na pastagem.

Através da análise de Clusters (agrupamentos), o levantamento de Vogel & Beber (2022) identificou quatro grupos de produtores (G1, G2, G3 e G4), que variaram no número médio de cabeças por fazenda (185, 33, 16 e 124), número de vacas lactantes (84, 13, 5 e 29), superfície de terra utilizada (142, 34, 18 e 149 ha) e finalidade do gado (gado para produção de leite, reprodução ou com mais de uma finalidade). O grupo G3 compôs 36% da amostragem, seguido por G2 (35%), G4 (15% e por fim, G1 (14%). Além destes parâmetros, os autores também concluíram que a maior parte das fazendas avaliadas apresentam altas PC.

No estudo conduzido por Oliveira et al. (2022), os autores verificaram que a utilização de raças híbridas e a intensificação do pastejo resultaram em uma redução de 2,7 ha da superfície necessária para a condução do gado, permitindo a implantação de árvores para mitigação das emissões de GEE e diversificando a produção. Conforme observado pelos autores, que conduziram o experimento em uma zona de Floresta Atlântica, o efeito de redução da superfície

necessária para a pastagem de 2,7 ha seria suficiente para a preservação de aproximadamente cerca de 145 espécies de árvores nativas.

Figura 10. Tema e contribuição principal para os artigos que avaliaram a cadeia produtiva até o distribuidor principal.



Fonte: dados da pesquisa, elaborado pelas autoras.

A comparação entre a PC da margarina e da manteiga na região Sul do país proposta por Campos et al. (2019), demonstrou que a produção do leite contribui significativamente para o aumento da PC do produto final, podendo ser responsável por até 93,4% das emissões por kg de CO² equivalente quando a alocação da LCA é realizada por parâmetros financeiros, sendo ainda significativa na alocação mássica (88,9%). Neste trabalho, a produção de leite foi o fator de maior impacto na PC da manteiga.

A adaptação de subprodutos à coprodutos pode ser uma importante estratégia para o perfil ambiental de laticínios, de acordo com Santos et al. (2022). A melhora do perfil ambiental observada pelos autores é resultante da otimização dos recursos e da amplificação da gama de produtos a ser processada. Os processos multifuncionais que resultam em múltiplos produtos a partir de uma mesma matéria prima diluem a PC.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho não conseguiu encontrar artigos que relacionassem o mercado de carbono e a produção leiteira de baixo impacto ambiental, levantando duas hipóteses: a) não existem publicações que liguem ambos os temas de forma direta, dentro das limitações estabelecidas na presente pesquisa; b) os descritores selecionados não foram suficientes e efetivos para a varredura atingir o seu objetivo.

O Brasil, no presente, ainda não integrou ao Plano ABC o mercado de emissões de GEE. Tal estratégia pode ser uma forte aliada ao custeio parcial da transição para sistemas de produção leiteira de menor impacto ambiental. A avaliação do ciclo de vida (LCA) e o levantamento da pegada de carbono (PC) apresentam grande relevância na análise do impacto ambiental da produção e processamento de leite bovino.

8. REFERÊNCIAS

- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Editora 70, 2016.
- BARROS, M. M. et al. **Percepção de Produtores de Leite Diante do Plano para uma Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. 2020.
- BRUM; KELM & ALBORNOZ. **A Cadeia Produtiva do Leite: Um Estudo Contextual Entre o Rio Grande do Sul (Brasil) e Buenos Aires (Argentina)**. 2014. Disponível em: <https://arquivofee.rs.gov.br/wpcontent/uploads/2014/05/201405277eegmesa19cadeiaproductiva leite.pdf>. Acesso em: 06 de abril de 2023.
- BSI - BRITISH STANDARD INSTITUTION. Department for Environment, Food and Rural Affairs, **Carbon Trust (2008) PAS 2050: Specification for the assessment of life cycle greenhouse gas emissions of goods and services**. London, UK, 2008.
- CAMPOS, M. M. et al. **Eficiência alimentar: ferramenta para aumento de bioeficiência em gado de leite**. 2012.
- CAMPOS, S. et al. **Avaliação comparativa da pegada de carbono de margarina e manteiga produzidas no Sul do Brasil**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 24, p. 93-100, 2019.
- CARVALHO, C. M. G.; PIERRE, F. C. **Mercado de Crédito de Carbono no Agronegócio**. Tekhne e Logos, v. 10, n. 2, p. 37-46, 2019.
- CARVALHO, L. S. et al. **Environmental life cycle assessment of cow milk in a conventional semi-intensive Brazilian production system**. Environmental Science and Pollution Research, p. 1-16, 2021.
- CQNUMC – CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DE CLIMA. 1992.
- CQNUMC – CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DE CLIMA. Banco de dados de Projetos de MDL. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Acesso em: 29 de março de 2022.
- CQNUMC – CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DE CLIMA. Protocolo de Kyoto à Convenção sobre Mudança do Clima, 1997.
- DAMASCENO, R.; MIRANDA, S. H. G. **Histórico da precificação de carbono na agropecuária brasileira**. Revista de Política Agrícola, v. 31, n. 4, p. 57, 2022.
- DUARTE, B. B.; TUPIASSU, L.; CRUZ, S. N. **O mercado de carbono na política de mitigação das mudanças climáticas**. Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo, v. 6, n. 2, p. 93-108, 2020.
- EMBRAPA. **Um novo olhar sobre as emissões da pecuária brasileira**. 09 de dezembro de 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/18798638/um-novo-olhar-sobre-as-emissoes-da-pecuaria-brasileira>. Acesso: 16 de junho de 2022.
- EMBRAPA. **Vaca jersolanda pode ajudar a reduzir emissões da bovinocultura leiteira**. 31 de janeiro de 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/20796311/vaca-jersolanda-pode-ajudar-a-reduzir-emissoes-da-bovinocultura-leiteira>. Acesso em: 20 de junho de 2022.
- ESTUFA – SEEG BRASIL. Agenda e conteúdo: base de dados. 2019. Disponível em: <https://www.sitawi.net/>. Acesso em: 29 de junho de 2022.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Greenhouse gas emissions from the dairy sector: a life cycle assessment.** Report. Animal Production and Health Division. 2010. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/012/k7930e/k7930e00.pdf>. Acesso em: 28 de março de 2023.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostat>. Acesso em: 15 junho de 2022.

FENG, X.; KEBREAB, E. **Net reductions in greenhouse gas emissions from feed additive use in California dairy cattle.** Plos one, v. 15, n. 9, p. e0234289, 2020.

GILLENWATER, M. et al. (2007). **Policing the voluntary carbon market nature reports climate change: voluntary greenhouse-gas emission offset markets are in need of government oversight.** Nature Reports Climate Change, 6, 85-87.

GISLON, G. et al. **Forage systems and sustainability of milk production: Feed efficiency, environmental impacts and soil carbon stocks.** Journal of Cleaner Production, v. 260, p. 121012, 2020.

HAMRICK, K.; GALLANT, M. **Unlocking Potential: State of the Voluntary Carbon Markets.** 2018. Disponível em: <http://forest-trends.org/releases/p/sovcm2017>. Acesso em: 28 de março de 2013.

HUANG, X. et al. **Mitigating environmental impacts of milk production via integrated maize silage planting and dairy cow breeding system: a case study in China.** Journal of Cleaner Production, v. 309, p. 127343, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE). **PPM 2020: rebanho bovino cresce 1,5% e chega a 218,2 milhões de cabeças.** 29 de setembro de 2021. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31722-ppm-2020-rebanho-bovino-cresce-1-5-e-chega-a-218-2-milhoes-de-cabecas> Acesso: 29 de junho de 2022.

IDF – INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. **A common carbon footprint approach for Dairy, The IDF Guide to Standard Lifecycle Assessment Methodology for the Dairy Sector.** Bulletin of International Dairy Federation. Report No.: 445. 2010.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 1990. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/reports/>. Acesso: 16 de junho de 2022.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.** Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K (eds). Published: IGES, Japan. 2006 Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em: 28 de março de 2023.

JAYASUNDARA, et al. **Improving farm profitability also reduces the carbon footprint of milk production in intensive dairy production systems.** Journal of cleaner production, 229, 1018-1028, 2019.

LÉIS, C. M. et al. **Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 20, p. 46-60, 2015.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Valor da Produção Agropecuária de 2021 atinge R\$ 1,129 trilhão.** 13 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-da-producao-agropecuaria-de-2021-atinge-r-1-129-trilhao>. Acesso: 15 de junho de 2022.

MAZZETTO, A.; FALCONER, S.; LEDGARD, S. **Mapping the carbon footprint of milk for dairy cows**. Report for DairyNZ, 2021.

MENEGUIN, F. B. **O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil**. Brasil economia e governo, v. 28, 2012.

MORAES, L. E. et al. **A linear programming model to optimize diets in environmental policy scenarios**. Journal of dairy science, v. 95, n. 3, p. 1267-1282, 2012.

MOREIRA, G. L. **Financiamento verde: uma análise do plano agrícola de baixo carbono**. 2020.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. **Greenhouse gas balance and mitigation of pasture-based dairy production systems in the Brazilian Atlantic Forest Biome**. Frontiers in Veterinary Science. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.958751> 2022.

OLIVEIRA, Y. P. L. **Desafios do Mercado de Carbono após o Acordo de Paris: Uma revisão**. Meio Ambiente (Brasil), v. 4, n. 1, 2021.

OSÓRIO G. I. S.; LEFÈVRE G. **COP27 e o mercado de carbono internacional**. Portal FGV. 10 de novembro de 2022. Disponível em: <https://portal.fgv.br/artigos/cop27-e-mercado-carbono-internacional>. Acesso: 27 de março de 2023.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; PANDEY, J. S. **Carbon footprint: current methods of estimation**. Environmental monitoring and assessment, v. 178, p. 135-160, 2011.

PETERS-STANLEY, M., & YIN, D. (2013). **Maneuvering the mosaic: state of the voluntary carbon markets**. 2013. Disponível em: http://www.foresttrends.org/documents/files/doc_3898.pdf. Acesso em: 2 de abril de 2022.

PIRLO, G.; LOLLI, S. **Environmental impact of milk production from samples of organic and conventional farms in Lombardy (Italy)**. Journal of cleaner production, v. 211, p. 962-971, 2019.

PULROLNIK, K. et al. **Estoques de carbono e nitrogênio no solo e biomassa florestal em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no cerrado**. Embrapa Cerrados-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2021.

PUUPPONEN, A. et al. **Finnish dairy farmers' perceptions of justice in the transition to carbon-neutral farming**. Journal of Rural Studies, v. 90, p. 104-112, 2022.

REPORT OF THE WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**. United Nations. 1987.

RIBEIRO-FILHO, H. M. N.; CIVIERO, M.; KEBREAB, E. **Potential to reduce greenhouse gas emissions through different dairy cattle systems in subtropical regions**. Plos one, v. 15, n. 6, p. e0234687, 2020.

RIBEIRO-FILHO, H. MN; CIVIERO, Mauricio; KEBREAB, Ermias. **Potential to reduce greenhouse gas emissions through different dairy cattle systems in subtropical regions**. Plos one, v. 15, n. 6, p. e0234687, 2020.

ROQUE, B. M. et al. **Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows' diet reduces enteric methane emission by over 50 percent**. Journal of Cleaner Production, v. 234, p. 132-138, 2019.

SANTOS, L. L. C. et al. **Life Cycle Assessment of Dairy Products: A Case Study of a Dairy Factory in Brazil**. Sustainability, v. 14, n. 15, p. 9646, 2022.

SCHETTINI, B. L. S. et al. **Silvopastoral systems**: how to use them for carbon neutral milk production?. Carbon Management, v. 12, n. 4, p. 377-384, 2021.

SEGNINI, A. et al. **Soil carbon stock and humification in pastures under different levels of intensification in Brazil**. Scientia Agricola, v. 76, p. 33-40, 2019.

SEÓ, H. L. S. et al. **Avaliação do Ciclo de Vida na bovinocultura leiteira e as oportunidades ao Brasil**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, p. 221-237, 2017.

SILVA, A. M. M. et al. **Custos na Produção Leiteira em uma Propriedade no Oeste de Santa Catarina**. Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc São Miguel do Oeste, v. 7, p. e30407-e30407, 2022.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO

SISTEMA DE REGISTRO NACIONAL DE EMISSÕES - SIRENE. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/clima/paginas/sistema-de-registro-nacional-de-emissoes-sirene>. Acesso: 16 de junho de 2022.

STEFFEN, W. et al. **Planetary boundaries**: guiding human development on a changing planet. Science, Washington, v. 347, n. 6223, p. 1259855-1259855. 2015.

TUBIELLO, F. N. et al. **Pre-and post-production processes along supply chains increasingly dominate GHG emissions from agri-food systems globally and in most countries**. Earth System Science Data Discussions, p. 1-24, 2021.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, & WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **The Changing Atmosphere**: Implications for Global Security - Conference Proceedings. 1988. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/29980>. Acesso: 21 de dezembro de 2023.

VOGEL, E.; BEBER, C. L. **Carbon footprint and mitigation strategies among heterogeneous dairy farms in Paraná, Brazil**. Journal of Cleaner Production, v. 349, p. 131404, 2022.

WAYCARBON, **O que a COP26 mudou nos mercados de créditos de carbono?**. 17 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://blog.waycarbon.com/2021/12/o-que-a-cop26-mudou-nos-mercados-de-creditos-de-carbono/>. Acesso: 23 de dezembro de 2022.

WIEDMANN, T.; MINX, J. **A definition of 'carbon footprint'**. Ecological economics research trends, v. 1, n. 2008, p. 1-11, 2008.

WILKES, A. et al. **Variation in the carbon footprint of milk production on smallholder dairy farms in central Kenya**. Journal of Cleaner Production, v. 265, p. 121780, 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Risks Report 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2021/>. Acesso: 29 de junho de 2022.

WRI WBCSD – WORLD RESOURCES INSTITUTE AND THE WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **The Greenhouse Gas Protocol - Initiative calculation tool**. 2011. Disponível em: <http://www.ghgprotocol.org/>. Acesso em: 28 de março de 2023.

ZANIN, A.; FAVRETTO, J.; POSSA, A.; MAZZIONI, S.; COSTA S. Z, V. **Apuração de custos e resultado econômico no manejo da produção leiteira: uma análise comparativa entre o sistema tradicional e o sistema freestall**, 2015.