



Ferramentas para medir o sequestro de carbono em ambientes rurais: uma revisão bibliométrica

Tools for measuring carbon sequestration in rural environments: a bibliometric review

Jhon Jairo Orjuela Moreno

Mestrando em Administração - FCA UNICAMP

j197748@dac.unicamp.br

Ricardo Cerveira

Doutorando em Administração - FCA UNICAMP

rcerveir@gmail.com

Christiano França da Cunha

Livre docente em Administração - FCA UNICAMP

chfcunha@unicamp.br

Grupo de Trabalho (GT): << GT4. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade>>

Resumo

Os gases de efeito estufa (GEE) gerados pelas práticas agropecuárias são uma das principais fontes de emissões que contribuem para as mudanças climáticas. Por isso a necessidade de conhecer as ferramentas e as técnicas de medição usadas para medir o impacto dessas práticas no meio ambiente. A revisão bibliométrica realizada neste estudo tem como objetivo identificar as ferramentas para medir o balanço entre a emissão e o sequestro de carbono em ambientes rurais. Através da revisão e da análise da literatura científica os avanços mais recentes na área e os resultados mais relevantes em relação às práticas agrícolas e pecuárias no Brasil, que contribuem para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, foram identificados. Esta revisão serve como uma ferramenta para a compreensão da importância das práticas agrícolas e pecuárias na redução das mudanças climáticas e na sustentabilidade em ambientes rurais.

Palavras-chave: GEE; Práticas agropecuárias; Sequestro de carbono; Mudanças climáticas; Sustentabilidade.

Abstract

Greenhouse gases (GHG) generated by agricultural and livestock practices are one of the main sources of emissions contributing to climate change. That's why the need to understand the measurement tools and the techniques used to measure the impact of these practices on the environment. The bibliometric review conducted in this study aims to identify tools for measuring carbon sequestration in rural environments. Through the review and analysis of scientific literature, the most recent advances in the field and the most relevant results regarding agricultural and livestock practices in Brazil, which contribute to mitigating the effects of climate change, were identified. This review serves as a tool for understanding the importance of agricultural and livestock practices in reducing climate change and promoting sustainability in rural environments.

Key words: *Greenhouse gases; Agricultural and livestock practices; Carbon sequestration; Climate change; Sustainability.*



1. Introdução

A medição dos efeitos dos gases de efeito estufa é necessária para entender o impacto que estes têm na saúde humana e no planeta. A Organização Mundial da Saúde (WHO, sigla em inglês) afirma que as mudanças climáticas afetam a saúde das pessoas através de doenças zoonóticas e por meio de alimentos e de águas contaminadas, destacando a importância da geração de políticas públicas que visem à redução da produção de gases de efeito estufa (GEE, sigla em inglês) (WHO, 2013). As principais emissões vêm da queima de petróleo, da gasolina e de atividades como agricultura e pecuária. No entanto, estas últimas têm sido estigmatizadas devido à falta de estudos ou de pesquisas que avaliem os impactos que geram principalmente para a saúde humana e ecossistemas (DICK et al., 2021). Isso porque gases como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) são responsáveis pelo aquecimento global e pelos fenômenos climáticos, como as secas e as inundações (IPCC, 2022).

As cidades são as principais responsáveis pela produção de CO_2 em nível mundial, devido ao consumo necessário de energia para o transporte, a iluminação, o aquecimento e a indústria, entre outros. De acordo com La Sota et al. (2019), as cidades são responsáveis por 70% da produção mundial de CO_2 . Este número é alarmante e demonstra a necessidade de tomar medidas (geração de políticas públicas) e adotar práticas (uso de energias renováveis) que promovam a otimização dos recursos de maneira sustentável.

Como mencionado, o setor pecuário é um dos mais questionados devido à sua alta capacidade de emissão de GEE provenientes de diferentes atividades dos seus sistemas produtivos, como a produção extensiva de gado (ERI et al., 2020), a geração do CO_2 pela transformação do solo, o metano (CH_4) da fermentação entérica e o óxido nitroso (N_2O) da decomposição de esterco armazenado e o uso de fertilizantes nos solos (ALAYÓN-GAMBOA, 2018). De acordo com Carauta M et al. (2021), em 2016, as emissões de GEE foram cerca de 35% provenientes do setor agrícola, gerando uma alerta e uma preocupação, mas que também acabou promovendo assim o interesse no uso de práticas agrícolas com o objeto de baixar as emissões de carbono geradas pelo setor agropecuário.

Para a medição da eficiência das diferentes práticas implementadas foram usadas algumas ferramentas que permitem calcular as emissões de CO_2 , tais como as derivadas da gestão das florestas urbanas e da agricultura (LA SOTA et al., 2019), os inventários de emissões baseadas no consumo (CBA sigla em inglês) (DE SOUZA LEAO et al., 2020) e os desenhos experimentais baseados em amostras de cultivos ou plantações agrícolas (ERI et al., 2020; FONTANA et al., 2020). O uso de diferentes modelos e ferramentas para a medição dos efeitos de GEE permite, por um lado, verificar onde se concentram os diferentes estudos e, por outro lado, identificar as oportunidades de ajustar e de utilizar novos modelos.

O objetivo deste estudo foi identificar através da aplicação de uma análise bibliométrica as ferramentas de medição de sequestro e de emissão de carbono em ambientes rurais. Dada a importância do carbono no ciclo de vida dos ecossistemas e a importância de seu sequestro para combater as mudanças climáticas, a identificação de ferramentas precisas e eficazes para medir o sequestro de carbono em ambientes rurais é essencial para avaliar o impacto das práticas agrícolas e pecuárias na mitigação das mudanças climáticas. Esta identificação foi feita através de uma análise bibliométrica em que foram revisadas as publicações científicas relevantes na área, observando-se as ferramentas mais utilizadas e as principais tendências.



Desta forma para atingir este objetivo descrito deste artigo pretende-se responder a seguinte pergunta norteadora: Quais são as principais ferramentas para medir o sequestro de carbono nas áreas rurais?

Para a elaboração desta resposta à pergunta norteadora este artigo conta com quatro partes. Além desta primeira parte (a introdução) os leitores observarão em mais detalhes, na segunda parte, qual foi e como foi a metodologia usada para esta coleta de dados secundários. Na terceira parte os resultados encontrados nesta análise bibliométrica feita serão apresentados e discutidos. Após esta apresentação e discussão dos resultados aqui obtidos algumas conclusões, inclusive a resposta da pergunta norteadora serão apresentadas na quarta parte (Conclusões).

2. Metodologia

Para realizar a identificação das ferramentas utilizadas na medição do sequestro de carbono e das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em ambientes rurais, foi realizada uma análise bibliométrica de artigos científicos, sendo esta técnica metodológica uma ferramenta útil e eficaz para obter informações relevantes em uma determinada área temática a partir da revisão sistemática da literatura publicada (SOLANO et al., 2009). Para isso, utilizou-se termos de busca específicos que foram agrupados em blocos, como detalhado na Tabela 1. A busca foi realizada na base de dados *Web of Science*, por ser uma das mais utilizadas no âmbito científico, pois oferece uma grande quantidade de informações e de ferramentas para análise dos resultados.

Bloco	Palavras Chave
1	Agriculture AND regenerative Agriculture AND tropical Agriculture AND low AND Carbon Agriculture AND Sustainable Agriculture AND Agribusiness
2	GEE Gases AND effect AND greenhouse Carbon AND climate AND change REED+ CPR AND green Carbontrack
3	Carbon AND footprint Tool Footprint Evolution Gauging Quantification

Tabela 1. Blocos das palavras-chave da busca.

O objetivo com a seleção destes termos foi encontrar artigos que tivessem as temáticas destacadas por estes termos de busca. Inicialmente a pesquisa foi realizada por blocos individuais, o que gerou um grande número de resultados. Por isso foi decidido acrescentar os parâmetros: “Language: English / Portuguese” e “Publication date: Last 5 years”. Assim, a busca foi realizada utilizando o filtro “Topic” da seguinte forma:



Topic (palavras do bloco 1) AND Topic (palavras do bloco 2) AND (palavras do bloco 3) AND Language (English/Portuguese) + Publication Date (Last 5 years).

Em cada um dos blocos, as palavras foram colocadas entre parênteses seguidas pelo conector "OR". A pesquisa resultou em 321 artigos. Posteriormente, os artigos publicados no Brasil foram selecionados, obtendo-se um total de 21 artigos. Os artigos do banco de dados foram então exportados no formato BibTex para serem processados no programa *Start*. O banco de dados extraído contém informações tais como autor, título, palavras, palavra-chave, diário, resumo, ano e tipo de documento.

3. Resultados e Discussões

Na análise dos artigos científicos selecionados foram identificadas várias palavras-chaves com alta frequência, sendo as de maior representatividade: sustentabilidade, intensificação, uso, solo, mudança e biodiversidade, entre outras (ver Figura 1). Essas palavras-chave são indicadores da forte relação com temas de sustentabilidade, intensificação do uso do solo, biodiversidade, mudanças climáticas e práticas sustentáveis.



Figura 1. Análise das palavras chave.

A distribuição dos artigos permitiu agrupá-los por áreas temáticas, identificando que 47,6% dos artigos estão relacionados ao tema "*Environmental Sciences*", seguido por "*Environmental Studies*" com 23,8%. "*Green Sustainable Science Technology*" representa 19,05%. "*Engineering Environmental*" e "*Forestry*" ocupam o quarto e quinto lugar com a mesma porcentagem de participação (14,3%). Essa distribuição sugere que a maioria dos estudos se concentrou em questões ambientais, com um foco particular em sustentabilidade e mudanças climáticas.

Entre os temas abordados nos artigos, foi encontrado que a mitigação de emissões, principalmente de CO₂ foi o tema central. Os efeitos dos GEE também foram amplamente discutidos. Entre os artigos selecionados os que se concentraram como tema principal na mitigação de emissões de CO₂ foram: DE CARVALHO et al., (2022); DE MORAIS VIEIRA; MATHEUS, (2019); DE SOUZA LEO et al., (2020); LA SOTA et al.,(2019); LAIPELT et al.,(2021). Esses estudos



analisaram as diferentes práticas agrícolas que ajudam a reduzir o impacto gerado pelas emissões de CO₂ e aquelas que aumentam o sequestro de carbono.

Quanto às ferramentas utilizadas nos diferentes estudos, foram encontradas várias metodologias e técnicas. Essas ferramentas incluíram principalmente: experimentos de campo, implementação de modelos de análise de informação, cálculos e fórmulas de medição de GEE, avaliação do ciclo de vida, simulações matemáticas, ferramentas técnicas, entre outras. Embora nem todos os estudos tenham sido desenvolvidos em setores agrícolas, alguns foram medidos em cidades urbanas ou em regiões muito específicas, o que poderia ser visto como uma oportunidade para replicá-los em diferentes regiões ou países.

A seguir, são listadas as principais ferramentas para mensuração de emissão e sequestro de carbono utilizadas nos artigos analisados:

- Cálculo das emissões de CO₂ derivadas das atividades de implantação e gestão de florestas urbanas e agrícolas.
- SMAF (*Framework* de Avaliação da Gestão do Solo).
- Análise do ciclo de vida.
- Inventários de GEE com base na abordagem de produção (PBA).
- Amostras de pasto para análises de laboratório.
- Projeto de blocos completos randomizados.
- Pacote de simulação baseado em agentes (MPMAS).
- Gerenciamento de pastagens.
- Práticas agrícolas sustentáveis (SAI).
- Medidas diretas no campo.
- Estimativas baseadas em modelos.
- Sistema de pastoreio regenerativo (*Voisin Rational Grazing*).
- Espectroscopia de fluorescência induzida por laser (LIFS).
- Estimativa automatizada da ET.
- Metodologia PRISMA.
- Calibração e validação do DayCent PBM.
- Projeto experimental completamente randomizado (no campo).

Por outro lado, outro tema que também foi mencionado em vários dos artigos analisados foi o impacto da intensificação agrícola na biodiversidade e a importância de sua conservação. A intensificação agrícola refere-se à produção de alimentos em áreas limitadas de terra através de técnicas intensivas, como o uso de fertilizantes e pesticidas, a mecanização e a seleção de culturas de alto rendimento (DICK et al., 2021; SILVA et al., 2022). No entanto, essas técnicas podem ter um impacto negativo no meio ambiente, especialmente na biodiversidade.

Alguns estudos, como o de KATTGE et al., (2020), destacam a importância de incluir a biodiversidade como um dos eixos centrais na planificação de sistemas agrícolas sustentáveis e na tomada de decisões de políticas públicas. Por outro lado, em seu estudo, Li et al. (2021) propõem a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis que promovam a biodiversidade e incentivem o uso de plantas autóctones e a diversificação de culturas.



4. Conclusões

Os resultados das análises realizadas mostraram que um dos temas centrais é a importância da sustentabilidade na pesquisa agrícola e a grande preocupação com a redução das emissões de gases de efeito estufa e a conservação da biodiversidade. Os estudos destacaram a importância de usar e de adotar práticas agrícolas sustentáveis que promovam a conservação dos recursos naturais e a capacidade de recuperação e de adaptação dos sistemas agrícolas.

Neste sentido nota-se que para melhorar este uso e esta adoção de práticas agrícolas sustentáveis um fator bastante importante é a mensuração dos impactos positivos gerados no meio ambiente por estas novas ações.

O uso de diferentes ferramentas e instrumentos permite medir os impactos gerados pelos gases de efeito estufa em diferentes perspectivas: urbana, rural, produtiva e pecuária. Em termos gerais, os diferentes autores concordam que é difícil padronizar as medições devido à grande quantidade de fatores envolvidos no processo e que esses fatores variam à medida que o ambiente ou a localização mudam.

Diante à isso nota-se que se torna fundamental neste processo do uso e da adoção práticas agrícolas sustentáveis que promovam a conservação dos recursos naturais e a capacidade de recuperação e de adaptação dos sistemas agrícolas o conhecimento de quais são as principais ferramentas para medir o sequestro de carbono nas áreas rurais, justamente a pergunta norteadora que foi respondida neste artigo.

Portanto os resultados desta pesquisa devem ser usados para entender melhor as ferramentas aqui destacadas para medir este sequestro do carbono nas áreas rurais para que esta melhor compreensão possa criar melhores elementos para a elaboração de políticas públicas que promovam o uso e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis pelos agricultores, melhorando assim o meio ambiente.

5. Referências

- ALAYÓN-GAMBOA, J. A. Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. **Agro Productividad**, v. 11, n. 2, 2018.
- CARAUTA, M. et al. Climate-related land use policies in Brazil: How much has been achieved with economic incentives in agriculture? **LAND USE POLICY**, v. 109, out. 2021.
- DE CARVALHO, A. M. et al. Nitrous Oxide Emissions from a Long-Term Integrated Crop-Livestock System with Two Levels of P and K Fertilization. **LAND**, v. 11, n. 9, set. 2022.
- DE MORAIS VIEIRA, V. H.; MATHEUS, D. R. Environmental assessments of biological treatments of biowaste in lifecycle perspective: A critical review. **WASTE MANAGEMENT & RESEARCH**, v. 37, n. 12, p. 1183–1198, dez. 2019.
- DE SOUZA LEAO, E. B. et al. Carbon accounting approaches and reporting gaps in urban emissions: An analysis of the Greenhouse Gas inventories and climate action plans in Brazilian cities. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 245, fev. 2020.
- DICK, M. et al. Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 311, ago. 2021.
- ERI, M. et al. Capitalizing on opportunities provided by pasture sudden death to enhance livestock sustainable management in Brazilian Amazonia. **ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT**, v. 33, mar. 2020.
- FONTANA, A. et al. Resistance of Soil Organic Matter in "Humic A Horizons" of the Mountainous Region in the State of Rio De Janeiro. **FLORESTA E AMBIENTE**, v. 27, n. 1,



2020.

KATTGE, J. et al. TRY plant trait database—enhanced coverage and open access. **Global change biology**, v. 26, n. 1, p. 119–188, 2020.

LA SOTA, C. et al. Urban green infrastructure as a strategy of climate change mitigation. A case study in northern Spain. **URBAN FORESTRY & URBAN GREENING**, v. 40, n. SI, p. 145–151, abr. 2019.

LAIPELT, L. et al. Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. **ISPRS JOURNAL OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING**, v. 178, p. 81–96, ago. 2021.

LI, J. et al. Agricultural biodiversity for sustainable food systems: A review. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 284, n. 125102, 2021.

SILVA, Y. F. et al. Intense Pasture Management in Brazil in an Integrated Crop-Livestock System Simulated by the DayCent Model. **SUSTAINABILITY**, v. 14, n. 6, mar. 2022.

SOLANO, L. E. et al. Bibliometry, an efficient tool to assess the postgraduate scientific activity. **Revista Electrónica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos**, v. 7, n. 1727– 897X, p. 59–62, 2009.

WHO. Protecting health from climate change: vulnerability and adaptation assessment. **World Health Organization**. 2013. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/104200>>. Acesso em: 11, março 2023.