

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EMIÇÃO DE CO₂ ASSOCIADA A ATRIBUTOS DO
SOLO SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO
AMAZÔNICA, MATO GROSSO – BRASIL**

Adriano Maltezo da Rocha

Engenheiro Agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EMIÇÃO DE CO₂ ASSOCIADA A ATRIBUTOS DO
SOLO SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO
AMAZÔNICA, MATO GROSSO – BRASIL**

Adriano Maltezo da Rocha
Orientador: Prof. Dr. Newton La Scala Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

FICHA CARTOGRÁFICA

R672c

Rocha, Adriano Maltezo da

Emissão de CO₂ associada a atributos do solo sob diferentes usos na região Amazônica, Mato Grosso - Brasil. / Adriano Maltezo da Rocha. -- Jaboticabal, 2022

112 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Newton La Scala Junior

Coorientador: Alan Rodrigo Panosso

1. Dióxido de carbono atmosférico. 2. Gases de efeito estufa. 3. Atmosfera do solo. 4. Pecuária. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DE PAROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EMISSÃO DE CO₂ ASSOCIADA A ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO AMAZÔNICA, MATO GROSSO – BRASIL

AUTOR: ADRIANO MALTEZO DA ROCHA

ORIENTADOR: NEWTON LA SCALA JUNIOR

COORIENTADOR: ALAN RODRIGO PANOSSO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal

Prof. Dr. MARCO ANTONIO CAMILLO DE CARVALHO (Participação Virtual)
Departamento de Agronomia / Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Profa. Dra. ADRIANA APARECIDA RIBON (Participação Virtual)
Departamento de Ciências dos Solos / UEG - Câmpus Palmeiras de Goiás

Pesquisadora Dra. MARA REGINA MOITINHO (Participação Virtual)
CNPEM / Campinas/SP

Pesquisador Dr. RICARDO DE OLIVEIRA BORDONAL (Participação Virtual)
CTBE/CNPEM / Campinas/SP

Jaboticabal, 23 de março de 2022

DADOS CURRÍCULARES DO AUTOR

ADRIANO MALTEZO DA ROCHA - Nascido em Alta Floresta - MT no dia 23 de maio do ano de 1993, filho de Lenita Maltezo da Rocha e Vilmar Nogueira da Rocha, foi ingresso no curso de Agronomia na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) no ano de 2011. Durante a graduação, ao concluir o quarto semestre, foi aprovado no edital 003/2013 (PROBIC) e tornou-se bolsista de iniciação científica do Laboratório de Anatomia e Morfologia Vegetal (LAMOVI), após a conclusão da bolsa, foi estagiário do Laboratório de Sementes e Matologia (LaSeM) da mesma universidade, onde desenvolveu alguns trabalhos que deram origem aos primeiros resumos e artigos trabalhando com as áreas de Tecnologia de Sementes e Plantas Daninhas. Após isso, iniciou o seu Trabalho de Conclusão de Curso no Laboratório de Entomologia Agrícola, onde avaliou o uso de produtos alternativos no controle de Mosca-branca (*Bemisia tabaci* Biótipo B), monografia essa, que defendeu no ano de 2015. Em 2016 ingressou no Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos – PPGBioAgro, sob orientação do Prof. Dr. Oscar Mitsuo Yamashita, com o tema da dissertação voltado na **“AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DA CULTURA DO MILHO EM SOLOS COM RESÍDUOS DE PICLORAM”**. Ao término do mestrado, foi aprovado no programa de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, campus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Newton La Scala Júnior, e ao mesmo tempo, foi aprovado no processo de seleção para professor substituto da UNEMAT. Dessa forma, como o planejamento da pesquisa de doutorado era estudar aspectos voltados a **“EMIÇÃO DE CO₂ ASSOCIADA A ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO AMAZÔNICA, MATO GROSSO – BRASIL”**, mais precisamente no norte de Mato Grosso, assumiu junto com a pesquisa a docência das disciplinas de Fitopatologia Geral, Agrícola e Doenças das Grandes Culturas. Até que em fevereiro de 2022 submete-se à banca para a defesa do doutorado.

“Aprendendo com o próprio sofrimento, sabendo que o mal pensamento é uma arma letal” – Rodolfo Abrantes.

DEDICO

Aos meus pais VILMAR NOGUEIRA e LENITA MALTEZO DA
ROCHA

As minhas irmãs TATIANE MALTEZO, TATIELE MALTEZO e MARIA
GABRIELA MALTEZO DA ROCHA.

Ao meu amado sobrinho e afilhado JOAQUIM MALTEZO.

OFEREÇO

A minha noiva, futura esposa e eterna companheira
ADRIANA CONRADO.

A restituição da SAÚDE do meu pai.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre me guiar e proteger em todos os momentos da minha vida e de minha família, pois sem a presença dele em minhas orações nada teria o êxito da conquista.

A minha mãe Lenita Maltezo da Rocha, meu pai Vilmar Nogueira da Rocha e as minhas irmãs Tatiane Maltezo, Tatiele Maltezo e Maria Gabriela Maltezo da Rocha por todo amor e carinho.

A minha amada noiva Adriana Conrado pelo amor, carinho, paciência, energias positivas, auxílios necessários e todos os inúmeros adjetivos que descrevem a quão fantástica e fundamental és em minha vida, além dos meus afilhados, Igor Gabriel, Júlia Almeida e Joaquim Maltezo.

À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho Campus de Jaboticabal pela receptividade como aluno e condições de trabalhos disponibilizadas e a todos os docentes do PPGCS.

Ao meu orientador Prof. Dr. Newton La Scala Júnior que teve paciência e aceitou o desafio da orientação mesmo com toda essa distância de Jaboticabal – SP com o experimento desenvolvido em Alta Floresta – MT.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso que me auxiliou muitas as vezes em grande parte das disciplinas ministradas.

A Universidade do Estado de Mato Grosso e ao Laboratório de Análises de Solos e Análise Foliar da própria universidade por me proporcionar o ambiente para as análises laboratoriais.

Aos alunos de extremo empenho que pude ter em todo o período de coleta e análises, sendo eles: Lucas Eduardo Batista da Cruz, André Luiz Rizzi Marquezam, Johny Martins Pimenta, Fábio Romário Guerra, Edmar Moreira e Felipe de Souza Freitas, além de todos os demais que se prontificaram a estar praticamente toda semana se deslocando 50 km para me auxiliar em todo o procedimento de avaliação do experimento, além dos alunos Willian Kume e Luana Marques Campos pelo auxílio no laboratório.

Ao professor Marco Antonio Camillo de Carvalho, pela aptidão inicial e sensatez em observarmos as dificuldades iniciais e buscarmos soluções cabíveis para a execução da pesquisa.

A Estância Vanda, sob posse de um dos maiores pesquisadores e produtores que conheci, o proprietário e técnico agrícola Sr. Nivaldo Michetti e

sua esposa Vanda Michetti, por sempre abrir com sorriso no rosto as portas da propriedade para a condução do experimento.

Aos meus amigos Oscar Mitsuo Yamashita, Wagner Gervázio, Delmonte Roboredo, Marcelo Odorizzi de Campos, Gustavo André dos Santos, Maria Elisa, Luciano de Souza Maria, Fernando Rossi, André Oliveira, Bruna Oliveira, Jonatan Neris, Paulo César Medeiros, Júnior Marques, Mateus Juveniano e Daniel Sousa, que sempre foram fundamentais para as nossas trocas de conversas, grato pela amizade de vocês.

À minha sogra Izaura Favorito e ao meu sogro Salvador Conrado, por me acolherem e sempre apoiarem em tudo o que eu optei em escolher e desenvolver como acadêmico.

E por fim, a todos os que torceram e estiveram comigo em toda essa caminhada.

OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xv
LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS	xvi
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABELAS	xix
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	20
1 INTRODUÇÃO	20
1.2 REVISÃO DE LITERATURA	23
1.2.1 Os gases de efeito estufa (GEE) e o aquecimento global	23
1.2.2 O Setores da agropecuária e mudança no uso da terra nas emissões de GEE.....	25
1.2.3 Estratégias para a mitigação da emissão dos GEE	27
1.2.4 Sistemas integrados de produção agropecuária	30
1.2.4.1 Sistema silvipastoril.....	32
1.2.5 Influência da umidade do solo (Us) e temperatura do solo (Ts) na emissão de CO ₂	34
1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
2 APLICAÇÃO DA META ANÁLISE EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO PECUÁRIA	48
RESUMO.....	48
ABSTRACT	49
2.1 INTRODUÇÃO	50
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	51
2.2.1 Origem do estudo.....	51
2.2.2 Procedimentos metodológicos e levantamento de dados	51
2.2.3 Análise e manipulação dos dados.....	52
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
2.5 REFERÊNCIAS.....	72
3 COMO OS DIFERENTES USOS DO LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO DA REGIÃO AMAZÔNICA AFETAM A DINÂMICA DA EMISSÃO DE CO ₂ ?.....	76
RESUMO.....	76
ABSTRACT	77
3.1 INTRODUÇÃO	78

3.2 MATERIAL E MÉTODOS	79
3.2.1 Caracterização da Área de Estudo.....	79
3.2.2 Delimitação do experimento	82
3.2.3 Avaliação da emissão de CO ₂ (FCO ₂), temperatura (Ts) e umidade do solo (Us)	82
3.2.4 Amostragem e análises físicas, químicas e biológicas do solo	83
3.2.5 Análises químicas do solo	83
3.2.6 Análises físicas do solo	84
3.2.7 Análises biológicas do solo	84
3.2.8 Forma de análise dos resultados	85
3.2.8.1 Variação Temporal e Estatística Descritiva dos Tratamentos	85
3.2.8.2 Análise de Correlação Linear de Pearson	85
3.3 RESULTADOS	86
3.3.1 Variabilidade Temporal da Emissão de CO ₂ (FCO ₂), Temperatura (Ts) e Umidade do solo (Us)	86
3.3.2 Estatística descritiva da Emissão de CO ₂ associado aos atributos do solo.....	89
3.3.3 Correlação de Pearson da emissão de CO ₂ (FCO ₂) com os atributos do solo das diferentes áreas de estudo.....	93
3.4 DISCUSSÃO	96
3.4.1 Variabilidade Temporal da Emissão de CO ₂ (FCO ₂), Temperatura (Ts) e Umidade do solo (Us)	96
3.4.2 Estatística descritiva da Emissão de CO ₂ associado aos atributos do solo.....	98
3.4.3 Correlação de Pearson da emissão de CO ₂ (FCO ₂) e os atributos do solo.....	102
3.5 CONCLUSÕES	106
3.6 REFERÊNCIAS	106

APRESENTAÇÃO

O presente estudo baseia-se na hipótese que áreas de pastagens degradadas apresentam os menores valores de carbono orgânico do solo, que em virtude da redução desse atributo, apresentam maiores emissões de CO₂. De maneira contrária, áreas bem manejadas e intensificadas como silvipastoril, pastagens reformadas, além das florestas nativas que apresentam incrementos naturais de serrapilheira, tendem a apresentar os maiores valores de carbono orgânico e as menores emissões de CO₂, sendo toda essa dinâmica influenciada pelos atributos do solo.

Uma das prováveis explicações para isso, é que pastagens degradadas podem apresentar com o tempo, desequilíbrios fazendo com que, por meio de práticas extrativista de exploração da pastagem, potencialize a degradação e afete a estabilidade do carbono no sistema.

Por isso, quando efetuado a prática da reforma da pastagem ou a transição para sistemas de integração silvipastoril, as melhorias dos atributos do solo podem ser observadas, potencializado pelo fornecimento em quantidades ideais de corretivos de acidez, adubação, além da ciclagem de nutrientes pela forrageira, resultado do bom manejo no sistema. Enquanto para o sistema silvipastoril, além de todos esses benefícios observados, a mesma apresenta o componente florestal em integração, que contribui para o incremento da matéria orgânica pela deposição das folhagens das espécies florestais, contribuindo para maiores estoques e estabilidade do carbono no solo.

O fato de a floresta nativa estar como um componente em estudo, dar-se-á por ser uma área em equilíbrio, apresentando grande importância, pois reflete nas condições iniciais, antes mesmo da inserção do sistema pecuário de produção. Partindo assim em um pressuposto, que esta área pode apresentar valores de carbono orgânico do solo como referência, e as menores emissões de CO₂ comparado com os demais tratamentos estudados. Por este motivo, o objetivo geral do estudo foi caracterizar as variações temporais da emissão de CO₂ dos solos, associados aos atributos químicos, físicos e biológicos em áreas de pastagem degradada e reformada, silvipastoril e floresta nativa na Amazônia Meridional.

A pesquisa foi composta por 3 capítulos. O capítulo 1 é constituído pelas **“CONSIDERAÇÕES GERAIS”**. Neste capítulo, é apresentado uma revisão bibliográfica acerca dos gases de efeito estufa, estratégias para a mitigação, além da importância dos atributos químicos, físicos e biológicos e suas relações acerca da emissão de CO₂ nos sistemas de produção. Neste capítulo, apresentamos inúmeros trabalhos que avaliaram na literatura, sob diferentes manejos, a importância da mitigação de GEE, além da influência de atributos como pH, umidade, temperatura, estoque de carbono, CTC, argila e entre outros, nas possíveis interferências nas taxas de redução ou aumento dessas emissões nos agroecossistemas.

O capítulo 2, foi constituído pelo estudo denominado **“APLICAÇÃO DA META ANÁLISE EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO PECUÁRIA”**. Este capítulo apresenta a evolução temporal de estudos publicados e referenciados na plataforma Scopus acerca do termo “Livestock Forest Systems”, apresentando informações sobre a frequência, países, afiliações, instituições, tipos de trabalhos e autores que mais contribuíram com estudos acerca do termo. Por isso, buscou-se comparar trabalhos que apontam os aspectos relevantes desse sistema integrados de produção, com destaque ao sistema silvipastoril, que de acordo com vários trabalhos explorados na literatura, tende a ser um sistema dinâmico e importante, que com o passar dos anos vem crescendo e sendo constantemente estudado no Brasil, Estados Unidos e no restante do Mundo. Sendo sua implantação, uma das importantes metas no planejamento de sistemas de agricultura de baixo carbono que é uma política de redução da emissão de GEE no Brasil.

No capítulo 3 apresentamos o estudo **“COMO OS DIFERENTES USOS DO LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO DA REGIÃO AMAZÔNICA AFETAM A DINÂMICA DA EMISSÃO DE CO₂?”**, neste, buscamos estudar a relação de atributos do solo, com destaque para o carbono orgânico do solo, na influência da variação temporal de emissão de CO₂ nas áreas estudadas, além de comparar quais áreas apresentaram as maiores influências na emissão de CO₂ na Amazônia.

EMIÇÃO DE CO₂ ASSOCIADA A ATRIBUTOS DE SOLO EM DIFERENTES USOS DA TERRA NA AMAZÔNIA, MATO GROSSO – BRASIL

RESUMO

O aumento de emissão de gases de efeito estufa (GEE) nos últimos anos vem se destacando pelos níveis alarmantes, responsáveis pelo agravamento das mudanças climáticas. Devido a importância deste tema, pode-se destacar a relevância que estudos capazes de compreender a dinâmica do CO₂ na superfície terrestre, principalmente, sob alguns sistemas de produção agrícola como o sistema de integração silvipastoril, que vem se destacando como possíveis alternativas para mitigar os efeitos da emissão de GEE. Sendo assim, estudos capazes de caracterizar a dinâmica de CO₂ (FCO₂) são importantes na busca de entender as relações existentes entre atributos do solo em diferentes sistemas de produção. Diante disso, a hipótese deste estudo consiste que sistemas integrados de produção como silvipastoril apresenta o maior incremento nos teores de carbono orgânico (CO) do solo, e menores emissões de CO₂ do solo comparado com sistemas não integrados e pastagem degradada na Amazônia. Dessa forma, objetivou-se com a presente pesquisa, fazer o estudo de meta-análise sobre sistemas integrados de produção, além de avaliar a variabilidade temporal da emissão de CO₂ em diferentes usos do solo na Amazônia, Mato Grosso, Brasil. O trabalho foi conduzido sob 3 capítulos, desenvolvidos no município de Paranaíta/MT. A delimitação do trabalho contou com quatro diferentes usos do solo: sistema silvipastoril; pastagem reformada; pastagem degradada; e floresta nativa que constituiu as 4 diferentes tipologias de uso e 25 repetições por tratamento. No capítulo 1, foi apresentado as considerações gerais do tema. No capítulo 2, foi utilizado o recurso da meta-análise, a partir da palavra-chave “Livestock Forest Systems” e série temporal de 1950 à 2020 disponibilizada pela plataforma Scopus, para entender a relevância do tema. No capítulo 3, foi feita a análise descritiva dos dados, variabilidade temporal e estudos de correlação. As variáveis analisadas foram as emissões de CO₂ (FCO₂), umidade (Us) e temperatura do solo (Ts). Estas foram avaliadas durante todo o período experimental que se deu entre dezembro e abril do ano de 2018. Ao final deste período, foram feitas coletas da profundidade de 0 a 0,20 m, buscando avaliar atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Como resultados das pesquisas, foi possível observar o aumento no número de trabalhos científicos com o uso do termo “Livestock Forest Systems”. Estes resultados reforçam que a produção científica do tema alinhado ao uso de sistemas integrados, ganharam relevância ao longo do tempo. Foi observado a partir da correlação de Pearson entre os atributos, que o aumento da emissão de CO₂ é resultado do aumento da Ts e da redução do carbono orgânico do solo. Além disso, o sistema de produção silvipastoril foi o uso do solo que mais contribuiu para a redução das emissões, enquanto a pastagem degradada apresentou as maiores emissões de CO₂. Portanto, pode-se concluir que o sistema de produção silvipastoril se destaca como importante alternativa para redução das emissões de CO₂, sendo uma alternativa sustentável para uso do solo Amazônico.

Palavras-chave: Carbono, Gases de Efeito Estufa, Pastagem Degradada, Sistema integrado.

CO₂ EMISSIONS ASSOCIATED WITH SOIL ATTRIBUTES ON DIFFERENT LAND USES IN THE AMAZON, MATO GROSSO – BRAZIL

ABSTRACT

The increase in greenhouse gas (GHG) emissions in recent years has been highlighted by alarming levels, responsible for worsening climate change. Due to the importance of this topic, the relevance of studies capable of understanding the dynamics of CO₂ on the Earth's surface, mainly under some agricultural production systems such as the silvopastoral integration system, which has emerged as alternatives to mitigate the effects of GHG emissions. Hence, studies capable of characterizing CO₂ dynamics are important to understand the relationships between soil attributes in different production systems. Thus, the hypothesis of this study is based on the fact that integrated production systems, such as silvopastoral, present higher levels of increase in soil organic carbon (CO) and lower soil CO₂ emissions when compared to non-integrated systems and degraded pasture in the Amazon. In this way, the objective of this research was to make a study meta-analysis on integrated production systems, besides evaluating the temporal variability of CO₂ emission in different land uses in the Amazon, Mato Grosso, Brazil. The work was carried out under 3 chapters, developed in the city of Paranaíta/MT. The delimitation of the work had four different land uses: silvopastoral system; reformed pasture; degraded pasture; and native forest, which constituted the 4 different types of use and 25 repetitions per treatment. In chapter 1, the general considerations of the theme were presented. In chapter 2, the resource of the meta-analysis was used, through the keyword "Livestock Forest Systems" and time series from 1950 to 2020 available on the Scopus platform, to understand the relevance of the topic. In chapter 3, a descriptive analysis of the data, temporal variability and correlation studies were performed. The variables analyzed were CO₂ emissions (FCO₂), moisture (Us), and soil temperature (Ts). These were evaluated throughout the experimental period of December and April of 2018. At the end of this period, samples were collected from 0 to 0.20 m in depth, seeking to evaluate the chemical, physical and biological attributes of the soil. As a result, an increase in the number of scientific works was observed using the term "Livestock Forest Systems". Concluding that the scientific production of the theme aligned with the use of integrated systems gained relevance over time. Based on Pearson's correlation between attributes from chapter 3, it was also observed that the increase in CO₂ emission is a result of the increase in Ts and the reduction of soil organic carbon. Furthermore, the silvopastoral production system was the land use that most contributed to the reduction of emissions, while the degraded pasture presented the highest CO₂ emissions. Portanto, pode-se concluir que o sistema de produção silvipastoril se destaca como uma importante alternativa para reduzir as emissões de CO₂, sendo uma alternativa sustentável para o uso do solo amazônico.

Keywords: Carbon, Greenhouse Gases, Degraded Pasture, Integrated System.

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

GEE – Gases de Efeito Estufa
WMO - Organização Meteorológica Mundial
ppm – Partes por Milhão
ppb – Partes Por Bilhão
CO₂ – Dióxido de Carbono
NH₄ – Metano
N₂O – Óxido Nitroso
COS – Carbono Orgânico do Solo
CTC – Capacidade de Troca Catiônica
ILP – Integração Lavoura-floresta
IPF – Integração Pecuária-floresta
ILPF – Integração Lavoura-pecuária-floresta
ONU – Organização das Nações Unidas
IPCC – Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas
CO₂ eq – Carbono Equivalente
Pg CO₂ – Petagrama
Gt CO₂ – Gigatonelada
CFCs – Clorofluorcarbonos
HFCs – Hidrofluorcarbonos
SF₆ – Hexafluoreto de Enxofre
PFCs – Herfluorcarbonos
Relação C/N – Relação Carbono e Nitrogênio
pH – Potencial Hidrogênio iônico
C – Carbono
Plano ABC – Plano de Agricultura de Baixo Carbono
MOS – Matéria Orgânica do Solo
Ca²⁺ – Cálcio
K⁺ – Potássio
Mg²⁺ – Magnésio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de busca e levantamento dos metadados com o termo Livestock Forest Systems em base Scopus.	52
Figura 2 - Variação temporal das publicações em anos com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus 1958 a 2020.....	54
Figura 3 - Variação temporal em décadas de trabalhos publicados com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus 1958 a 2020.....	56
Figura 4 - Contratos e gastos com o Plano ABC do ano de 2010 a 2019.	57
Figura 5 - Frequência de trabalhos publicados por país com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2020.....	59
Figura 6 - Série temporal de trabalhos publicados pelos principais países (Estados Unidos, Brasil, Índia, Alemanha e Reino Unido) com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2020.....	61
Figura 7 - Frequência de trabalhos publicados por área de conhecimento com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2020. .	62
Figura 8 - Série temporal de trabalhos publicados pelos principais países (Ciências Agrárias e Biológicas, C. Ambientais, C. Sociais e C. da Terra e Planetária) com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2020.	64
Figura 9 - Frequência de trabalhos publicados por tipo de trabalho com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2020.....	66
Figura 10 - Série temporal de trabalhos publicados pelos principais tipos de trabalhos (Artigo, Congresso, Capítulo, Revisão e Livro) com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2020.....	67
Figura 11 - Frequência da publicação por autores de trabalhos publicados com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2020. .	68
Figura 12 - Frequência de publicação por instituição relativos aos trabalhos com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1958 a 2020.	69
Figura 13 - Frequência de trabalhos publicados por agência de fomento com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1958 a 2020.	70
Figura 14 - Areas experimentais e diferentes usos do solo no município de Paranaíta - MT.	80

Figura 15 – Usos do solo. A) PD – Pastagem degradada, B) PR – Pastagem reformada, C) PF – Silvipastoril e D) FN – Floresta nativa, Paranaíta - MT..... 81

Figura 16 - Variabilidade temporal da emissão de CO₂ do solo (A), umidade do solo (B) e temperatura do solo (C) em diferentes usos do solo, Paranaíta – MT, 2018/2019. 86

Figura 17 - Regressão linear entre emissão de CO₂ e a temperatura do solo nas diferentes usos do solo. Floresta Nativa, Pastagem degradada, Silvipastoril e Pastagem reformada. 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas descritivas da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo, juntamente com os atributos químicos, físicos e biológicos do solo nos diferentes usos do solo na Amazônia.....	91
Tabela 2 - Análise de correlação da emissão de CO ₂ (FCO ₂) e os atributos do solo nos diferentes usos do solo Amazônico (FN: Floresta Nativa, PD: Pastagem Degradada, PR: Pastagem Reformada e PF: Pecuária-Floresta), Paranaíta - MT, 2021.	94

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1 INTRODUÇÃO

Diante do crescente aumento na emissão dos gases de efeito estufa (GEE), nas últimas décadas, instituições como o Painel Intergovernamental Sobre as Mudanças Climáticas e Organização Meteorológica Mundial têm apontado para os níveis preocupantes da concentração dos GEE atmosféricos, especialmente o CO₂. Segundo dados da Organização Meteorológica Mundial (WMO), a presença de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e Metano (CH₄) estão nos últimos anos apresentando valores recordes para o ano de 2019, respondendo a $410,5 \pm 0,2$ ppm, 1877 ± 2 ppb e $332,0 \pm 0,1$ ppb, o que representam, 148%, 260% e 123%, respectivamente, dos níveis pré-industriais (WMO, 2020).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente, levando em conta importantes setores responsáveis pela emissão de GEE, no Brasil a “mudança no uso da terra” e “agropecuária” são os maiores contribuintes, representando 72% das emissões brasileiras no ano de 2019 (IEMA, 2020). Deste modo, as principais fontes no setor de mudança no uso da terra estão nas práticas do desmatamento, calagem e queima dos resíduos florestais que atuam emitindo CO₂. Já para agropecuária, as principais fontes que contribuem com a emissão de GEE, estão a fermentação entérica bovina (CH₄), manejo com fertilizantes nitrogenados (N₂O) e dejetos de animais (NH₄ e N₂O), cultivo de arroz inundado (NH₄) e queima de resíduos agrícolas, como é o caso da cana-de-açúcar (CO₂ e N₂O) (SEEG, 2019).

O Brasil, por ser um país cuja as suas fronteiras agrícolas passaram por um processo de expansão nos últimos anos, potencializou o setor de mudança de uso da terra, que através da flexibilização do governo federal, aumentou o avanço no desflorestamento da Amazônia, sendo a fonte precursora de aumento nas emissões e diminuição dos sumidouros de CO₂. Esse desflorestamento foi reflexo da retirada de florestas nativas ou plantadas para a inserção de alguma atividade produtiva voltada a agropecuária, por este motivo, foi a prática de mudança no uso da terra que apresentou acréscimos de 23% de 2018 (788 milhões t CO₂ eq) para 2019 (986 milhões t CO₂ eq emitido),

devido ao desmatamento desenfreado que apresentou aumento de 44% do total das emissões no Brasil (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020). Outro ponto destaque no território brasileiro, está no setor de produção agropecuária que apresenta importância mundial, por isso, a contribuição deste setor na emissão de GEE atmosféricos acaba sendo expressiva, resultado das diferentes fontes de emissões presentes no sistema, levando em conta desde o componente animal, tratamento de dejetos até práticas de manejo de fertilização ou a queima de resíduos no sistema agrícola (IPCC, 2007).

O solo é um importante sistema que apresenta potencial de estoque de carbono, a variação dessas quantidades tem interferência direta nas concentrações de CO₂, podendo sinalizar baixa ou alta concentrações desse importante GEE no sistema. Por isso, as taxas de emissões de CO₂ do solo (FCO₂) apresentam relação direta com a perda ou ganho do carbono orgânico do solo (COS), oriundo da dinâmica complexa entre todos os atributos do solo e a ação das condições climáticas (LAL, 2009; MOITINHO et al., 2013; SILVA-OLAYA et al., 2013) que pode induzir a valores significativos de aumento ou reduções nas emissões (FCO₂), devido a sua grande variabilidade no tempo (EPRON et al., 2006) e espaço (TEIXEIRA et al., 2011).

A busca pelo entendimento de todos os fatores que regem a dinâmica das emissões de CO₂ do solo, tem sua importância enfatizada, principalmente, diante das alterações climáticas observada em todo o planeta, como na variação da precipitação e temperatura que tem influência direta sobre a dinâmica do carbono entre o sistema solo-planta-atmosfera (DAVIDSON; BELK; BOONE, 1998).

Diante disso, alguns trabalhos apontam que a influência na variabilidade espacial das emissões de CO₂ do solo pode ser atribuída pela relação com atributos físicos, químicos e biológicos do solo, tais como textura (DILUSTRO et al., 2005), densidade do solo (TEIXEIRA et al., 2012), macro e microporosidade (SANTOS et al., 2019), estoque de carbono (PANOSSO et al., 2011), relação carbono e nitrogênio (C/N) (MOITINHO et al., 2021), nos teores de matéria orgânica do solo (SOE; BUCHMANN, 2005), acidez do solo (RETH; REICHSTEIN; FALGE, 2005), capacidade de troca catiônica (CTC) e mineralogia do solo (LA SCALA et al., 2000). Enquanto a variação em escala

temporal pode ser regida por atributos como teor de água (SANTOS et al., 2019), espaço poroso do solo (PANOSSO et al., 2011) e presença de outros gases como o oxigênio na estrutura do solo (CHEN; CHEN, 2010).

A matéria orgânica, devido a sua grande importância na manutenção do COS é influenciada diretamente pelos diferentes manejos (LIMA et al., 2006), sendo ela, utilizada como um dos principais indicadores das boas condições e qualidade dos solos (CONCEICAO et al., 2005; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Os resíduos orgânicos no solo estão passíveis a diversas transformações, que dão origem a compostos de maior estabilidade e complexidade caracterizadas substâncias húmicas (SANTOS; LACERDA; ZINN, 2013), formadas através da ação de microrganismos (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014).

Na região norte do estado do Mato Grosso, inserida no portal da Amazônia, as florestas naturais vêm dando lugar a áreas destinada a agricultura e pecuária ano após ano (SILVA, 2015). Uma das mais importantes atividades agrícolas que potencializaram no decorrer de anos as práticas do desflorestamento na região Amazônica de maneira mais impactante, consiste no advindo da pecuária. Para o estabelecimento dessa atividade, utilizam-se da prática do desmatamento para o cultivo das forrageiras tropicais, e posteriormente a isso, fazendo a inserção do componente animal.

Além da pecuária, outras fontes que apresentam seu importante parcela de contribuição nas emissões na região, sendo a agricultura que tem suas emissões potencializadas pela aplicação de fertilizantes e agrotóxicos e preparo do solo, além de práticas de desmatamento comum na Amazônia, muitas das vezes visando a abertura de áreas para a semeadura de importantes culturas agrícolas, com destaque para a sucessão soja/milho, respectivamente (FERRAZ, 2015).

Por isso, visando garantir melhoria nas condições de exploração de áreas agrícolas na Amazônia, diminuindo os efeitos da degradação pela busca da otimização do sistema produtivo, além do conforto animal e dos solos, já se tem observado a entrada de sistemas de integração (SI) agropecuários. Dentre o SI mais utilizados destaca-se para a integração lavoura-pecuária (ILP), fazendo a implantação do sistema de produção de grãos em sucessão com a

criação animal (DIEL et al., 2014), sistemas de integração pecuária-floresta (IPF) ou o conhecido como silvipastoril, que consiste na integração da exploração florestal em sistemas de criação animal com a presença de forrageiras cultivadas, e por fim, a junção de todas essas práticas que é a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ou agrossilvipastoril (BALBINO, 2011).

Dessa forma, estudos que avaliaram a dinâmica do carbono, através da caracterização da emissão de CO₂ do solo (FCO₂) sob diferentes manejos na região da Amazônia e suas relações com as características físicas, químicas e biológicas do solo, são de grande importância para estabelecer a sustentabilidade desses sistemas produtivos quanto ao seu impacto no aquecimento global.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Os gases de efeito estufa (GEE) e o aquecimento global

Os principais GEE presentes na atmosfera terrestre consistem no dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorcarbonos (CFCs) hidrofluorcarbonos (HFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e perfluorocarbonos (PFCs), além do vapor d'água. Ambos apresentam sua parcela dentro da regulação e dinâmica da temperatura da terra, isso por que, esses gases apresentam alto poder de absorção de calor, podendo reemitir para superfície terrestre toda essa energia absorvida (MONTZKA; DLUGOKENCKY; BUTLER, 2011).

Se tratando de valores de importância em concentração dos GEE, o vapor de água é considerado o mais importante quando comparado com todos, visto que, o planeta apresenta aproximadamente 70% de água e isso contribui significativamente com a abundância do mesmo na atmosfera terrestre. Já os gases que apresentam a emissão diretamente ligada a ação antrópica, destacam o dióxido de carbono (CO₂) que consiste no segundo mais relevante, detendo concentração de 100 vezes menos comparado ao vapor de água, além do gás metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) que atingiram notas máximas no ano de 2019, respondendo a $410,5 \pm 0,2$ ppm, 1877 ± 2 ppb e $332,0 \pm 0,1$

ppb, o que representam, 148%, 260% e 123%, respectivamente, dos níveis pré-industriais (WMO, 2020).

O efeito estufa consiste em um importante processo biofísico do planeta. Isso por que, a terra é alimentada por radiação solar, para isso, o sol emite aproximadamente metade da energia na faixa do visível, chegando na superfície terrestre em forma de ondas curtas (região do visível), e cerca da metade dessas ondas sendo absorvida pela Terra. Da fração refletida pela Terra, aproximadamente 30% da energia é refletida para o espaço pelas nuvens, gases, aerossóis e pela própria superfície (albedo), porém 20% é absorvida pela atmosfera variando pela quantidade de GEE, sendo esse efeito estufa o regulador da temperatura no planeta pelo equilíbrio entre a energia de entrada e a energia de saída da atmosfera (IPCC, 2013).

Entretanto, como a energia de saída tende a estar na forma de radiação por ondas longas (região do infravermelho), grande parte da mesma é amplamente absorvido pelos GEE (CO_2 , NH_4 , N_2O e vapor d'água), que conforme a variabilidade da concentração desses gases que apresentam grande capacidade de absorção de calor, é refletida novamente para a terra em forma de temperatura (IPCC, 2013).

Como o principal problema que acarreta o aquecimento global é oriundo da presença dos GEE na atmosfera, já se tem observado que a temperatura média global do ar da superfície da terra tem aumentado mais rapidamente do que a temperatura média global da superfície do globo, desde o período pré-industrial (1850-1900) até os dias atuais (1999-2018), representando acréscimo na faixa de 1,68 a 1,88° C e 0,75 a 0,99° C, respectivamente para o período de 1850 a 2015, com projeção desse aumento ser mais pronunciado nos próximos relatórios que serão publicados pelo Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC, 2019).

Buscando diminuir os problemas das mudanças climáticas, a organização das nações unidas (ONU) juntamente com vários representantes de importantes países mundiais, se reuniram para debater e traçar políticas para buscar alternativas para minimizar os impactos do aquecimento global. Assim, as alterações importantes nas condições climáticas, resultaram na convenção das Nações Unidas sobre Mudança de Clima (1972), conferência

de Toronto (1988), conferência da Rio de Janeiro (1992), protocolo de Kyoto (1997) e entre outros, colocando em pauta vários pontos importantes acerca do futuro das nações com a emissão de GEE.

No ano de 2015, foi elaborado pela Organização das Nações Unidas o acordo de Paris, com a participação de 151 países que buscaram debater responsabilidades de mitigação da emissão de GEE para o bem comum, sendo que entre as principais metas estava na busca de 2030 a 2050 pela redução da emissão dos GEE, diminuir 2° C a temperatura do planeta na busca de diminuir os efeitos do aquecimento global (KUEBLER, 2020).

Por isso, grande parte do mundo se mobiliza diante da realidade para amenizar problemas relativos ao aumento da emissão dos GEE, com intuito de diminuir os impactos das mudanças climáticas. Para que assim, todo este esforço na busca de alternativas como protocolo de Kyoto assinado na década de 90 e o acordo de Paris em 2016, tenham os seus compromissos de redução da emissão concretizados, para que nenhum outro tipo de atividade que induza a emissão de outros poluentes, compense negativamente o ganho advindo da mitigação de CO₂, NH₄ e N₂O (SOVACOOOL et al., 2021).

1.2.2 O Setores da agropecuária e mudança no uso da terra nas emissões de GEE

A emissão de GEE pode ser potencializada por diferentes setores. Todavia, os setores como agropecuária e mudanças no uso da terra são importantes contribuintes na emissão de gases de efeito estufa antropogênico, por isso, de acordo com o Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas é apontado que a agropecuária, uso da terra e mudança na gestão de uso são responsáveis por emitir 25% (10 a 12 Pg CO₂ eq ano⁻¹) de GEE, fato este que reforça a necessidade do estudo da mitigação de desses setores para prevenção de futuros problemas (IPCC, 2014).

Entre as práticas que fazem essa emissão de GEE ser observada de maneira acentuada nas práticas agrícolas, destacam para a queima de combustível fóssil, revolvimento constante do solo por implementos agrícolas (SCHUTZ et al., 1989), qualidade e capacidade de decomposição da matéria orgânica (TAVANTI et al., 2020) além de levar em conta o componente animal com a fermentação entérica, aplicação de fertilizantes nitrogenados e depósitos

de esterco e urina (ZHU et al., 2021). No setor da agropecuária, o componente animal pela fermentação entérica é um dos grandes contribuintes para o agravamento das emissões de CH₄, para a atmosfera, podendo apresentar 87%, 61% e 51% no Brasil das emissões por unidade animal em sistemas de pasto degradado, pastagem reformada e iLPF, respectivamente, a um período de aproximadamente 10 anos (FIGUEIREDO et al., 2017).

Em adição, em sistemas agrícolas e pecuários as fontes de emissão de metano (CH₄) que é um GEE com a capacidade de 28 vezes a absorção de calor do que o CO₂, apresenta como sua principal fonte de liberação na agricultura a decomposição da matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio, pela fermentação entérica de ruminantes, e principalmente, pelo cultivo de arroz inundado, que depende da duração da cultura no campo e as condições de regime de água (JAIN et al., 2004; JAIN et al., 2016).

Outrora, se tratando das fontes de óxido nitroso (N₂O) com potencial de aquecimento 300 vezes superior quando comparado ao CO₂, ele é totalmente influenciado pelos fertilizantes inorgânicos e orgânicos presentes ou aplicados no solo, fertilizantes industriais e no esterco que sofrem processos de transformação e liberação ao solo. Todavia, essas condições dependem do manejo, algumas relações importantes como a C/N, temperatura do solo, pH, umidade do solo, estação, tipo de cultura, fertilização e práticas de manejo agrícola do solo, como irrigação e preparo do solo (PATHAK et al., 2010).

Segundo estudos do IPCC (2014), mesmo o setor agropecuário sendo um dos maiores contribuinte para as emissões de GEE, esta será uma das atividades mais impactada no planeta. Pois as mudanças climáticas, que é um fenômeno potencializado pelo aumento de GEE atmosféricos, fará com que a agropecuária que é uma atividade dependente desses fatores, seja comprometida por extremos de temperatura, sazonalidade climáticas com a falta ou excesso de precipitação. Em adição, mesmo que a precipitação fique inalterada em algumas regiões, as temperaturas em excesso poderão aumentar a evapotranspiração do solo, diminuindo os teores de água disponível para as culturas e afetando toda a dinâmica de criação animal como o bem-estar e prejuízos no fornecimento de água.

O setor de mudanças do uso da terra, também contribui diretamente com as emissões. As práticas de desmatamento em áreas florestas naturais ou plantadas, fazem com que essas atividades antrópicas aumentem rapidamente a concentração de CO₂ na atmosfera do planeta (FOSTER et al., 2007; GROENIGEN; OSENBURG; HUNGATE, 2011), fazendo com que parte dos sumidouros naturais de carbonos seja eliminado com o desmatamento. No ano de 2018, este setor foi o que atuou como o maior emissor levando em conta as atividades que regem a economia brasileira, emitindo aproximadamente 845 mtCO no ano de 2018, a contribuição dessas emissões deu-se pela intensificação de práticas como queimadas de restos florestais, aumento no desmatamento da Amazônia para abertura de áreas para práticas agropecuárias diante da flexibilização de políticas voltadas ao desmatamento e a aplicação de calcário em lavouras (SEEG, 2020). Por essa importância, o efeito da mudança climática global reflexo da emissão de GEE, pode ser atenuada ou agravada pelas práticas de mudança no uso da terra. Isso por que, em cenários de mitigação, demonstram que práticas de reflorestamento pode contribuir com valores -1,7 e -2,4 GtCO₂ ano⁻¹ da remoção de dióxido de carbono atmosférico (IPCC, 2019), como também evitar práticas do desmatamento e queimadas florestais, preservando assim, os sumidouros terrestres naturais.

1.2.3 Estratégias para a mitigação da emissão dos GEE

A busca pela mitigação dos GEE é uma importante estratégia em estudo (HRISTOV et al., 2013). Por isso, existem diversas informações sendo prontamente disponibilizadas pela organização das nações unidas e o painel intergovernamental das mudanças climáticas – IPCC, que teve seu último relatório lançado em 2014 para buscar entender os aspectos no que concernem as mudanças climáticas, os impactos, as adaptações e vulnerabilidade, a base da ciência física que o rege, além de estratégias de mitigação, com o próximo relatório programado a ser disponibilizado para ciência em junho 2021 (IPCC, 2020).

Para que a mitigação dos GEE ocorra, todos os setores precisam se esforçarem. Para isso, algumas estratégias são observadas e sugeridas para

redução dessas emissões sem discriminar os setores, como a prevenção do desflorestamento e queimadas, reduzir a queima de combustíveis fósseis, e diante disso, buscar opções para atuar no sequestro de carbono atmosférico (CERRI et al., 2007).

Na agropecuária, por exemplo, FCO₂ além de ter relação com vários atributos do solo (LA SCALA et al., 2009), ela tem ligação direta com o pastoreio de animais que se relacionam com práticas de fertilização com nitrogênio, capacidade da forragem em acumular C pelas raízes, boas condições nutritivas da cultivar, composição da ração, manejo do esterco (GLENK et al., 2014), o revolvimento intensivo do solo, falta de cobertura, erosão, degradação influenciada pelas práticas de manejo (SILVA et al., 2014; IAMAGUTI et al., 2015), além das condições ambientais (SILVA-OLAYA et al., 2013; MOITINHO et al., 2013).

Entretanto, vale ressaltar, que para a busca da mitigação de GEE, além da necessidade em adaptar melhorias nas práticas que reduzam a emissão oriundo das atividades antrópicas por parte dos produtores que são considerados a oferta, existe também condições de mitigarmos se mudarmos práticas do lado da demanda. Isso por que, a busca pela demanda de alimentos mais saudáveis, menor consumo de carne (RIPPLE et al., 2013), aliado a escolha por alimentos cujo sistema de cultivo apresenta-se dentro do viés de sustentabilidade, como a redução do desperdício, uso de agrotóxicos, trazem benefícios para a população global e para a redução da emissão de GEE (YUE et al., 2017).

A dinâmica do carbono no ecossistema pode ser regulada pelos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Dessa forma, algumas práticas auxiliam na proteção de sumidouros naturais como o solo e a floresta, resultado da prevenção do desflorestamento, buscando otimizar os sistemas de produção por unidade de área, manejo adequado do solo, manutenção de cobertura e de boas condições químicas e físicas são alternativas importantes para evitar a perda desse carbono para a atmosfera, vindo assim, a interferir positivamente na manutenção do estoque do carbono (IPCC, 2014).

Por isso, quando observado os aspectos físicos do solo, a estrutura é um ponto importante para manutenção do C presente no sistema, isso por que,

o carbono fica estocado nos poros do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CARVALHO et al., 2010) e quando ocorre o revolvimento intensivo para preparo do solo, o carbono presente pode se ligar no oxigênio e se perder em forma de dióxido de carbono (CO_2), então toda prática que acarreta em alterações físicas no solo com a alteração da porosidade, densidade, umidade e agregação, pode ser indesejável no ponto de vista da mitigação da emissão de GEEs. Por isso, a valorização de sistemas conservacionistas, tende sempre a apresentar melhores condições de atuar como o sumidouro de carbono e não como emissor.

A matéria orgânica desempenha um importante papel para a condições de mitigação da emissão dos GEE, isso por que, a matéria orgânica é complexa, composta em sua estrutura por uma grande quantidade de carbono orgânico (CARVALHO et al., 2010), com isso, a mesma apresenta alta capacidade de fazer a manutenção do C presente nos solos, além de ser rica em microrganismos que auxilia em processos como de mineralização e imobilização, dinâmica e ciclagem de nutrientes, potencial tampão do solo, dinâmica da água e entre outros.

Sendo assim, o manejo buscando o incremento da matéria orgânica, faz com que ocorra melhoria da fertilidade do solo, cobertura pela adição, e por consequência, ocorra uma maior retenção do carbono pelo incremento da matéria orgânica do solo, por isso Boina (2008) e Oliveira et al. (2015) apontam que aproximadamente 1/3 do carbono orgânico do solo se encontra na matéria orgânica.

Outros processos que contribuem diretamente para o sequestro de carbono no solo consistem em processos de humificação, agregação e sedimentação (LAL, 1997). A humificação nada mais é que o processo de decomposição de resíduos animais ou vegetais pela ação de microrganismos transformando em substâncias mais complexas como humus que é mais resistente a ação de outros organismos, resultado disso, consiste no acúmulo de carbono no solo (KIEHL, 1979). A agregação nada mais é que a estrutura do solo, com o arranjo ordenado das partículas e por consequência atua protegendo o carbono para que não ocorra perdas (DUIKER et al., 2003), e por fim, a sedimentação é um processo de acúmulo de materiais provenientes de

outras áreas ou da mesma área que se acumula, transformada pela ação de organismos e incorporadas em forma de carbono (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

O entendimento que o solo é um importante contribuinte em condições de mitigação e/ou emissão de carbono, faz com que a boa manutenção do manejo, utilizando práticas conservacionistas, evitando erosão, aderindo às estratégias de cobertura para evitar a lixiviação, volatilização e potencializando a transformação do material vegetal em substâncias húmicas podem ser alternativas em sistemas de manejo agrícola para contribuir para a mitigação na emissão do C para a atmosfera. Isso é explicado por LAL (1997), onde aponta que umas das importantes maneiras de evitar a perda de C estocado no solo é evitar erosões, decomposição, volatilização e lixiviação que podem ocorrer no solo.

1.2.4 Sistemas integrados de produção agropecuária

O manejo inadequado do solo leva a problemas para os sistemas produtivos, um dos principais está na degradação atuando no desequilíbrio de atributos químicos, físicos e biológicos do sistema. Resultado disso, está no aparecimento de problemas relacionados a erosão, compactação, escassez de nutrientes, acidez do solo, além da diminuição da microbiota que resulta na degradação.

A degradação caracteriza-se pelo desprendimento de partículas do solo e seu arraste, que é agravado pela ação humana pelo manejo inadequado (PRUSKI, 2011). Por isso, com todos esses reflexos negativos acontecendo no sistema, desde a falta de entrada de algum componente neste ambiente como floresta, matéria orgânica e entre outros, o solo pode passar de sumidouro de C para emissor desses GEE.

A variação do comportamento do C no solo é variável nos agrossistemas, já se tem observado maiores valores de emissões de GEE em sistemas integrados mediante a intensificação agrícola como o sistema iLPF quando comparado com pastagens degradada. Todavia, quando avaliado o potencial de compensar C após 10 anos, o sistema iLPF foi o que apresentou os melhores resultados, pois conseguiu através dos outros componentes do

sistema como a floresta, acúmulo de CO₂ pelo solo e prevenção de resíduos, mais que dobrar a quantidade de CO₂ eq absorvido quando comparado com o que foi emitido, enquanto que a pastagem degradada não apresentou potencial compensação, apenas de emissão (FIGUEIREDO et al., 2017).

Em virtude disso, nos dias atuais, várias discussões estão sendo postas em práticas no que diz respeito a sistemas integrados de produção agrícola. De acordo com Cruz (2020), a busca por sistemas de produção integrado com a combinação de culturas anuais, pastagens e do componente animal, tende a promover maior eficiência na utilização de insumos, incrementando na fertilidade dos solos, no melhor aporte de biomassa em quantidade e qualidade, além incrementar e estocar maiores quantidades de C orgânico via resíduos vegetais, fezes e urina.

A inserção de sistemas integrados, atua na integração de diferentes práticas no campo, podendo possibilitar a incorporação de resíduos no solo de maneira a contribuir com o incremento da matéria orgânica, melhorando a proteção do solo, dinâmica da ciclagem de nutrientes e atuando diretamente na sustentabilidade do sistema. Por isso, autores como Li et al. (2017), sugerem que o potencial uso de sistemas integrados de produção faz com que aumente o armazenamento de C no solo, podendo atuar na diminuição ou compensação das emissões de GEE.

Em virtude dos problemas relacionados as mudanças climáticas pela emissão desordenada de GEE, o Brasil através de seus governantes lançou o “Plano de Agricultura de Baixo Carbono”, chamado Plano ABC, buscando promover práticas mais sustentáveis na agricultura insustentável que predomina em grande parte do país, reduzindo a emissão de GEE e aumentando a lucratividade do país (BRASIL, 2011). Entre as principais premissas do Plano ABC estava em pôr em prática a recuperação de pastagens degradadas, empregar mais as práticas de plantio direto, estimular o menor uso de fertilizantes nitrogenados para investir na fixação biológica de nitrogênio, sistemas florestais, e principalmente, os sistemas integrados de produção, sendo eles o agroflorestal, integração silvipastoril e agrossilvipastoril (AMARAL; CORDEIRO; GALERANI, 2011).

Dessa maneira, esses sistemas integrados de produção, são feitos no intuito de reduzir e compensar a níveis satisfatórios a emissão dos GEE do sistema agrícola a ser adaptado, principalmente por meio da integração animal com bovinos e silvícolas com florestas (PETERS et al., 2013). Assim, reduzindo os níveis de emissão animal, melhorando a qualidade da pastagem com dejetos incorporados no sistema, reduzindo a fermentação entérica (BERNARDI; JONGE; HOLMGREN, 2016), sobretudo, aumentando o sequestro de carbono pelo aumento da biomassa acima e abaixo do solo, mitigando assim a emissão de GEE (NAIR, 2012; PAULA et al., 2013, TORRES et al., 2017).

1.2.4.1 Sistema silvipastoril

Dentre alguns sistemas de produção considerados por muitos, pouco sustentáveis, a busca por sistemas que resultam com condições de melhoria em teores de matéria orgânica do solo (MOS) e por consequência faça a manutenção do carbono orgânico do solo (COS) tem sido constantemente buscado e apontado como mais sustentáveis. Isso por que, a MOS tem relação com múltiplos aspectos ambientais e com a qualidade do solo, sendo ela um dos principais responsáveis pela resiliência de sistemas agropecuários (MIELNICZUK et al., 2003)

Com isso, sistemas integrados de produção agrícola são importantes pilares para práticas mais sustentáveis, pois apresentam boas condições de melhoria em aspectos químicos, físicos e biológicos do solo. Buscando atender a otimização da produção, com sistemas mais intensificados e tendo o melhor aproveitamento por unidade de área, melhoria no conforto térmico para os animais, atua também na sustentabilidade ambiental, essas principais técnicas de produção integradas, constitui-se no sistema agropastoril (ILP”), fazendo com que em um sistema eu consiga explorar a criação animal juntamente com a produção agrícola (DIEL et al., 2014). Com isso, foram surgindo outros sistemas de integração como o silvipastoril (IPF - manejo de criação animal com o componente florestal), o silviagrícola (ILF - produção agrícola e florestal), e principalmente, o agrossilvipastoril (ILPF) (BALBINO, 2011).

Sistemas integrados de produção podem otimizar a utilização da matéria orgânica e por consequência a qualidade dos solos, para isso, é necessário conhecer os mecanismos de aporte de carbono desses sistemas e sua dinâmica para a busca de formas sustentáveis de manejo. Por isso, autores como Salton et al. (2011), apontam que a introdução de pastagens de forma alternada, com lavoura de soja em plantio direto, tende-se a resultar em maior acúmulo de carbono no solo quando comparado com sistemas contínuos ou monocultivos. Por isso, dentre as alternativas mais discutidas nos dias atuais, está na implantação de práticas conservacionistas, buscando mitigar os efeitos problemáticos da perda do carbono dos solos, entre eles destacam os sistemas silvipastoril (NOGUEIRA et al., 2019).

Uma das importantes características desse sistema, está no cultivo consorciado do componente vegetal de fins florestal em consórcio com a forrageira para alimentação animal, além disso, pode ou não ter presente o componente animal dentro do sistema de pastejo, assim, ocorre a deposição da biomassa da espécie florestal e o resíduo de pastagem no solo, incorporando e ocorrendo o incremento de carbono orgânico no sistema. Além do mais, a presença do componente florestal auxilia no conforto térmico do animal, bem como do solo, evitando a queima da matéria orgânica a curto prazo, o resultado disso, está nesses sistemas apresentando grandes potenciais de estoque de carbono no solo, reduzindo as perdas via emissão de CO₂ e formando assim um ambiente sustentável para o setor agropecuário (CARVALHO et al., 2010).

Vários trabalhos apontam importância de sistemas silvipastoril na dinâmica do carbono em sistemas agrícolas de produção (NOGUEIRA et al., 2019; SCHETTINI et al., 2019; SILVA et al., 2020; SOUZA, 2020), e pesquisas mostram que esses sistemas integrados podem ser considerado um importante pilar para a alteração da emissão de CO₂ pra atmosfera, sendo eles, potenciais sumidouros de carbono (TORRES et al., 2014), isso ocorre devido a grande capacidade do componentes florestais presentes no sistema em fixar carbono atmosférico na forma de biomassa (TORRALBA et al., 2016), e posteriormente, reincorporar ao solo após a deposição de seus resíduos. Para tanto, segundo Schhettini et al. (2019) os sistemas silvipastoris apresentam como contribuição

da remoção do CO₂ atmosférico, incorporando em biomassa, sendo as espécies que compõe o sistema e o solo os principais influenciadores da quantidade estocada de carbono.

1.2.5 Influência da umidade do solo (Us) e temperatura do solo (Ts) na emissão de CO₂

A dinâmica do carbono do solo, pode ser influenciada por inúmeros fatores, sejam eles bióticos como abióticos. Sabe-se que a atividade biológica como a respiração das raízes e a decomposição da matéria orgânica do solo, causadas pelos microrganismos tem papel importantíssimo na emissão de CO₂ do solo (MOITINHO et al., 2013).

Assim, as condições no que concernem a produção e transporte do CO₂ tem um impacto mais acentuado sobre a física e biologia do solo, isso por que a produção tem a direta influência na atividade da microbiota do solo, através dos processos de decomposição de resíduos e a respiração das raízes das plantas presentes no sistema, enquanto a física detém um importante respaldo e importância sobre os processos de transporte e emissão de CO₂, essa direta relação com a física é resultado da estrutura do solo, onde a influência da porosidade é um importante facilitador e influenciador da emissão de gases no solo (TAVARES et al., 2016).

Em trabalhos como de Bicalho et al. (2017) avaliando a emissão de GEE e suas relações com os atributos do solo, observaram que quando avaliado os atributos físicos do solo a emissão de CO₂ apresentou direta dependência com a porosidade do solo, sendo um dos principais reguladores, enquanto nos atributos químicos foram pH do solo, soma de bases e fósforo disponível que ao relacionar com CO₂ e N₂O afetam a atividade microbiana e aumentam a emissão de GEE.

Em adição, reforçando o potencial dos atributos em regular os processos que envolvem a dinâmica de CO₂ em solo, também é observado em outros trabalhos, segundo Moitinho et al. (2021) avaliando diferentes sistemas de manejo da cana, corte queima e cana verde, observou que espaço poroso, temperatura, umidade, fósforo, a soma de bases ($\text{Ca}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Mg}^{2+}$), densidade do solo, estoque de carbono do solo, relação C / N foram os

atributos mais relevantes que permitiram caracterizar a emissão de CO₂ em sistema de colheita de cana não queimada.

O processo natural de troca gasosa dos solos com a atmosfera, é regulado por importantes processos internos como a difusão e o fluxo de massa, sendo esses regulados totalmente por atributos físicos do solo como estrutura, teor de umidade e textura do solo (BALL, 2013). Em virtude disso, a emissão de CO₂ do solo é resultado de uma interação que envolve fatores bióticos como o clima (WANG et al., 2015), físico (PANOSSO et al., 2011), químico (LAL, 2009, MOITINHO et al., 2015), e principalmente fatores bióticos caracterizados pela microbiologia dos solos (ROSENZWEIG et al., 2016).

Dentre um dos principais contribuintes da regulação da dinâmica de carbono nos solos destacam para os atributos físicos (PANOSSO et al., 2011), e dois importantes componentes desses atributos destacam-se para as variáveis temperatura (Ts) e umidade do solo (Us), estes apresentam papel importante controlando os aspectos de emissão regulando a atividade dos microrganismos e de raízes no solo (TSAI et al., 1992; SCHLÖMER et al., 2013; XIE et al., 2015).

A Ts desempenha um fator importante na dinâmica de CO₂ nos sistemas agrícolas, pois condições de temperatura mais elevadas e a maior oxigenação dos solos tendem a aumentar a atividade microbiana, o resultado disso é a maior emissão de CO₂ atmosférico, resultando em decréscimos no estoque de carbono do solo (LAL, 2009).

E essa relação da Ts, fica ainda mais observável dependendo do manejo empregado no campo, onde se as altas temperaturas estiveram em sistemas convencionais de manejo, devido as constantes práticas de mecanização a Ts aumenta a atividade microbiana que por consequência aumenta a taxa respiratória ocorrendo a maior taxa de emissão de CO₂ do solo (XAVIER et al., 2019), onde esses eventos ocorrendo diretamente influenciado pela temperatura e umidade (SÁ et al., 2001).

A Us é uma variável que é juntamente discutida com a Ts em vários trabalhos. Pois, a presença de altas Us pode diminuir a emissão de CO₂ do solo ou aumentar, fazendo com que em sistemas convencionais os prejuízos com a aumento da emissão seja observado. Segundo La Scala (2010), a Us

tende a ser um atributo que se relaciona negativamente com a emissão de CO₂ do solo na variabilidade espacial e positivamente no temporal.

A Us tem influência direta na produção, transporte e emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (LA SCALA et al., 2006; SCHWARTZ et al., 2010). Dessa forma, dependendo do teor de umidade, alguns desses processos podem ser beneficiados ou até mesmo inibidos, por interferir em aspectos importantes e na atividade microbiana.

Além disso, outros trabalhos também encontraram que houve relação da Ts com a emissão de CO₂ do solo. Sendo assim, Song et al. (2013), Carbonell-Bojollo et al. (2012) e Shrestha et al. (2013) apresentam essa relação em seus trabalhos e apontam que a Ts precisa ser avaliada com cautela, para que obtenhamos mais clareza nos aspectos que influenciam a emissão, pois a temperatura afeta a Us, e possivelmente, o reflexo na variação da emissão de CO₂ do solo pode estar relacionado a umidade e não pela Ts.

Seja a Ts ou Us, ambos possuem o potencial de regular a dinâmica de CO₂. A Ts contribuindo para a faixa ideal de calor para os microrganismos benéficos do solo se reproduzirem otimizando os processos de decomposição do material orgânico do solo, enquanto a presença de Us auxilia na germinação dos esporos desses microrganismos, além de poder atuar na disponibilidade de oxigênio para a atividade da microbiota. Autores como Silva-Olaya et al. (2013), observaram diferentes métodos de preparo de solo para a produção de cana-de-açúcar que o aumento da Ts e Us induziu a um aumento nas emissões de CO₂, isso por que, com o aumento da temperatura aumentou a atividade microbiana, enquanto a umidade disponível também estimulou a atividade microbiana dentro do sistema.

Outros autores observaram relações dessas duas variáveis ambientais dentro da dinâmica de CO₂, onde Smith et al. (2003) e Silva-Olaya et al. (2013) apresentam que a Ts juntamente com a Us apresenta papéis indispensáveis nas emissões de CO₂, sendo as variáveis que regem essas emissões. Moitinho et al. (2021) observaram relações entre as variáveis no estudo que envolvia os aspectos de emissão de CO₂ em diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar, Iamagutti et al. (2015) observou interações significativas entre a Ts, Us e emissão de CO₂ em solo sob diferentes preparos, além de Bicalho et al.

(2017), que também apontam relações existentes em áreas de produção canavieira.

Por isso, o entendimento acerca dessas variáveis ambientais nos sistemas e sua influência com a emissão de GEE, com destaque para o CO₂, é de grande avalia para a sustentabilidade dos sistemas, e a contribuição das atividades junto ao agravamento do aquecimento global, só assim, é possível para traçar estratégias de manejo mais eficientes sustentável e economicamente.

1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, D.D.; CORDEIRO, L. A. M.; GALERANI, P. R. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p 1266-1274, 2011.

ANDERSON, P. R.; JÚNIOR, C. M.; JÚNIOR, M. J. S.; STEIN, C. R. Simulação do Efeito Estufa, da intensificação do Efeito Estufa pela presença de CO₂ e do impacto da mudança da cobertura da Terra na temperatura média do meio utilizando o Arduino. **Rev. Bras. Ensino Fís**, São Paulo, v.43, 2021.

B.C. BALL. Soil structure and greenhouse gas emissions: A synthesis of 20 years of experimentation. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 64, p. 357-373, 2013.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L.F. **Marco referencial: integração lavoura pecuária floresta**. Brasília: Embrapa, 2011. 130p.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, v. 61, n., p. 856-881, 2014.

BECKERT, M.R.; SMITH., P.; LILLY., A.; STEPHEN J. CHAPMAN., S.J. Soil and tree biomass carbono sequestration potential of silvopastoral and woodland-pasture systems in North East Scotland. **Agroforest System**, v. 90, p. 371–383, 2016.

BERNARDI, R.E.; DE JONGE, I.K.; HOLMGREN, M. As árvores melhoram a qualidade e abundância da forragem em pastagens subtropicais sul-americanas. **Agric. Ecosyst. Environ**, v. 232, p. 227-231, 2016.

BICALHO, E. S.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A. R.; SPOKAS, K. A.; LA SCALA, N. Soil Greenhouse Gases: Relations to Soil Attributes in a Sugarcane Production Area. **Soil & Water Management & Conservation**, v. 81, n. 5 p. 1168 – 1178, 2017.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BRASIL. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**, 2011.

Carvalho JLN, Avanzi JC, Silva MLN, De Mello CR, Cerri. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-290, 2010.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research, Amsterdam**, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 83-99, 2007.

CERRI, C.C.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

CHEN, G. Q.; CHEN, Z. M. Carbon emissions and resources use by Chinese economy 2007: A 135-sector inventory and input-output embodiment. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, v. 15, n. 11, p. 3647-3732, 2010.

CIAIS, P. CIAIS, P., C. SABINE, G. BALA, L. BOPP, V. BROVKIN, J. CANADELL, A. CHHABRA, R. DEFRIES, J. GALLOWAY, M. HEIMANN, C. JONES, C. LE QUÉRE, R.B. MYNENI, S. PIAO, AND P. THORNTON, **Carbon and other biogeochemical cycles**. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, p. 465–570. 2013^a.

CONCEICAO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Soil organic matter and other attributes as indicators to evaluate soil quality in conservation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

CRUZ, I. V. **EMISSÃO DE CO₂ E QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM OVINOS**. 2020. 98f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP.

DAVIDSON, E.A.; BELK, E.; BOONE, R.D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Global Change Biology**, v 4, 1998.

DIEL, D.; BEHLING, M.; NETO, A.L.F.; ISEMHAGEN, E.C.C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura pecuária floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 8, p. 639-647, 2014.

DILUSTRO, J. J.; COLLINS, B.; DUNCAN, L.; CRAWFORD, C. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 204, n. 1, p. 87-97, 2005.

DUAH-YENTUMI, S.; RONN, R.; CHRISTENSEN, S. Nutrients limiting microbial growth in a tropical forest soil of Ghana under different management. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 8, n. 1, p. 19-24, 1998.

DUIKER, S. W.; LAL, R. Carbon budget study using CO₂ flux measurements from a no till system in central Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 21-30, 2000.

DUIKER, S. W.; ROTHON, F. E.; TORRENT, J.; SMECK, N. E.; LAL, R. Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 606-611, 2003.

EPRON, D.; BOSC, A.; BONAL, D.; FREYCON, V. Spatial variation of soil respiration across a topographic gradient in a tropical rain forest in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**, v.22, p.565-574, 2006.

FERRAZ, C. **EXPLAINING AGRICULTURE EXPANSION AND DEFORESTATION: EVIDENCE FROM THE BRAZILIAN AMAZON – 1980/98**. Brasília: IPEA, 2015. 49p.

FORSTER, P. et al. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Cambridge Univ. Press, p. 129-234, 2007.

FUENTES, J. P.; BEZDICEK, D. F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S.; SMITH, J. L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, n. 2, 123-131, 2006.

GLENK, K.; EORY, V.; COLOMBO, S.; BARNES, A. Adoption of greenhouse gas mitigation in agriculture: An analysis of dairy farmers' perceptions and adoption behaviour. **Ecological Economics**, v. 108, p. 49-58, 2014.

GROENIGEN, K. J. V.; OSENBURG, C. W.; HUNGATE, B. A. Increased soil emissions of potent greenhouse gases under increased atmospheric CO₂. **Nature** v. 475, p. 214–216, 2011.

HRISTOV, A. N.; OH, J.; FIRKINS, J. L. KEBREAB, E.; WAGHORN, G.; MAKKAR, H. P. S.; ADESOGAN, A. T.; YANG, W.; LEE, C.; GARBER, P. J.; HANDERSON, B.; TRICARICO, J. M. SPECIAL TOPICS: Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options, **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 11, p. 5045 – 5069, 2013.

IAMAGUTTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA Jr., N. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 497-504, 2015.

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente. **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019**. 2020. Disponível em: < <https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-2020> >. Acesso em 10 de abril de 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Introduction. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y.; Xia, V.; Bex and P.M.; Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Mitigation**. Contribution of Working Group III. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press. 2014.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **SPECIAL REPORT: SPECIAL REPORT ON CLIMATE CHANGE AND LAND**. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press. 2019.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Methodology Report on Short-lived Climate Forcers**. Fourth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press. 2020.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **RELATÓRIO ESPECIAL: RELATÓRIO ESPECIAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E TERRASCH.** Resumo para formuladores de políticas. 2019. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>>. Acesso em: 12 de abril de 2021.

IPCC. **Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers.** Geneva, Suíça, 2007.

J. WANG, Q.Q. LIU, R.R. CHEN, W.Z. LIU, U.M. SAINJU. Soil carbon dioxide emissions in response to precipitation frequency in the Loess Plateau, **China Appl. Soil Ecol.**, v. 96, p. 288-295, 2015.

JAIN, N., PATHAK, H., MITRA, S., BHATIA, A. Emission of methane from rice fields: a review. **J. Sci. Ind. Res.**, v. 63, 101–115. 2004.

JAIN, N.; ARORA, P. TOMER, R.; MISHRA, S. V.; PATHAK, H.; CHAKRABORTY, D.; KUMAR, V.; DUBEY, D. S.; HARIT, R. C.; SINGH, J. P. Greenhouse gases emission from soils under major crops in Northwest India. **Science of The Total Environment.** v. 542, p. 551-561, 2016.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia:** relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KUEBLER, M. O. **Acordo de Paris como ponto de virada para o clima.** 2020.

LA SCALA, N.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T.; CORA, J. E. Carbon dioxide emission related to chemical properties of a tropical bare soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, n. 10, p. 1469-1473, 2000.

LAL, R. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. **Advances in Agronomy**, v. 71, n., p. 145-191, 2001.

LA SCALA JUNIOR, N.; LOPES, A.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in southern Brasil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 62, n. 3-4, p. 163-166, 2001.

LA SCALA, N., BOLONHEZI, D., PEREIRA, GT. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 91, p. 244-248, 2006.

LAGANIERE, J.; ANGERS, D. A.; PARE, D. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 16, n. 1, p. 439-453, 2010.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, v.60, p.158-169, 2009.

LAL, R. Soil processes and greenhouse effect. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 199-212. (Advances in Soil Science, 9).

LI, Z., SUI, P., WANG, X., YANG, X., LONG, P., CUI, J.; CHEN, Y). Comparação das emissões líquidas de GEE entre o sistema separado e o sistema integrado lavoura-suína na planície norte da China. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 653–664, 2017.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMYTH, T. J.; MOREIRA, M. S.; LEITE, F. P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 235, n. 1-3, p. 219-231, 2006.

LONGDOZ, B.; YERNAUX, M.; AUBINET, M. Soil CO₂ efflux measurements in a mixed Forest: impact of chamber disturbances, spatial variability and seasonal evolution. **Global Change Biology**, Oxford, v. 6, n. 1, p. 907-917, 2000.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMAS, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.209-248.

MOITINHO MR, PADOVAN MP, PANOSSO AR, LA SCALA N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1720-1728, 2013.

MOITINHO, M.R., PADOVAN, M.P., PANOSSO, A.R., TEIXEIRA, D.D.B., FERRAUDO, A.S., LA SCALA, N. On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum spp.*) production. **Soil & Tillage Research**, v, 148, p. 127–132, 2015.

MOITINHO, M. R.; FERRAUDO, A. S.; PANOSSO, A. R.; BICALHO, E. S.; TEIXEIRA, D. B.; BARBOSA, M. A.; TSAI, S. M.; BORGES, B. M. F.; CANNAPAN, F. S.; SOUZA, J. A. M.; LA SCALA, N. Effects of burned and

unburned sugarcane harvesting systems on soil CO₂ emission and soil physical, chemical, and microbiological attributes. **Catena**, v. 196, p. xx, 2021.

MONTZKA, S.A.; DLUGOKENCKY, E.J.; BUTLER, H. Non-CO₂ greenhouse gases and climate change. **Nature**, v. 476, p. 43–50, 2011.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

NAIR, PKR. **Mitigação da mudança climática: Um fruto fácil da agrossilvicultura**. in **Agroforestry - The future of global land use** (eds Nair, PKR & Garrity, D.) 31–67 (Springer Holanda, 2012).

NEVES, J. T.; BIZAWÉ, K. O EXTRATIVISMO DA MADEIRA NA AMAZÔNIA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS: A CONTRIBUIÇÃO DO PROTOCOLO DE KYOTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Revista Argumentum**, Marília, v. 20, n. 2, p. 465-483, 2019.

NOGUEIRA, D. C. S.; TAVANTI, R. F. R.; MONTANARI, R.; LA SCALA JÚNIOR, N.; PANOSSO, A. R. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em sistema silvipastoril e pastagem degradada na região do Cerrado. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2020.

NORDGREN, A. A method for determining microbially available N and P in an organic soil. **Biol. Fert. Soils**, v. 13, p. 195–199, 1992.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões do Brasil sobem 10% no 1º ano de Bolsonaro**. 2020. Disponível em: < <https://www.oc.eco.br/emissoes-brasil-sobem-10-no-1o-ano-de-bolsonaro/#:~:text=Desde%20a%20PNMC%2C%20as%20emiss%C3%B5es,m%C3%A9dia%20entre%201996%20e%202005.>>. Acesso em 11 de abril de 2021.

OLIVEIRA, E. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L. ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO SEGUNDO OS COMPONENTES DA PAISAGEM. **Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília**, v. 32, n.1/2, p. 71-93, 2015.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; MILORI, D.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, v. 111, n. 2, p. 190-196, 2011.

PATHAK, H., BHATIA, A., JAIN, N., AGGARWAL, P.K. **Greenhouse gas emission and mitigation in Indian agriculture — a review**. In: Singh, B. (Ed.), **ING Bulletins on Regional Assessment of Reactive Nitrogen**, Bulletin No. 19. SCON-ING, New Delhi, p 1–34, 2010.

PAULA, RR et al. Crescimento do eucalipto em sistemas monocultivos e silvipastoris com densidades iniciais de árvores e arranjos espaciais variados. **Agrofor. Syst**, v. 87, p. 1295–1307, 2013.

PETERS, M. et al. **Sistemas baseados em forragem tropical para mitigar as emissões de gases de efeito estufa**. em *Eco-Efficiency: From Vision to Reality* (eds. Hershey, CH & Paul Neate) 171–190 (Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2013).

PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2011. Cap. 1.

RETH, S.; MARKUS, R.; FALGE, E. The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux – A modified model. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1, p. 21-33, 2005.

RIPPLE, W. J.; SMIT, P.; HABERL, H.; MONTZKA, S. A.; MCALPINE, C.; BOUCHER, D. H. Ruminants, climate change and climate policy. **Nature Climate Change**, v. 4, p 2–5, 2014.

ROSENZWEIG, S.T.; CARSON, M.A.; BAER, S.G.; BLAIR, J.M. Changes in soil properties, microbial biomass, and fluxes of C and N in soil following post-agricultural grassland restoration. **Appl. Soil Ecol.**, v. 100, p. 186-194, 2016.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1486-1499, 2001.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 46, n.10, 2011.

SANTOS, L. L. D.; LACERDA, J. J. J.; ZINN, Y. L. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n., p. 955-968, 2013.

SANTOS, G. A. A.; MOITINHO, M. R.; OLIVEIRA, B. S.; XAVIER, C. V.; TEIXEIRA, D. B.; CORÁ, J. E.; LA SCALA JÚNIOR, N. Effects of long-term no-tillage systems with different succession cropping strategies on the variation of soil CO₂ emission. **Science Of The Total Environment**, v. 686, p. 413-424, 2019.

SCHARLEMANN, J.P.W.; TANNER, E.V.J.; HIEDERERD, R.; KAPOS, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v. 5, p. 81-91, 2014.

SCHETTINI, B. L. S.; JACOVINE, L. A. G.; NETO, S. N. O.; TORRES, C. M. M. E.; VILLANOVA, P. H.; ROCHA, S. J. S. S. RUFINO, M. P. M. X. Potencial de estocagem de carbono em sistemas silvipastoris no Brasil. **Brazilian Journal of Development Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 27659-27671, nov. 2019.

SCHLÖMER S, FURCHE M, DUMKE I, POGGENBURG J, BAHR C, SEEGER S, VIDAL A, FABER E. A review of continuous soil gas monitoring related to CCS – technical advances and lessons learned. **Applied Geochemistry**, v. 30, p. 148-160, 2013.

SCHWARTZ, R.C.; BAUMHARDT, R.L.; EVETT, S.R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 221-229, 2010.

SEEG. **Análise das Emissões Brasileira de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas do Brasil**. 2019, 33p.

SCHUTZ, H.; SEILER, W.; CONRAD, R. Processos envolvidos na formação e emissão de metano em arrozais. **Biogeochemistry**, v. 7, p. 33 – 53, 1989.

SILVA EDF, MOITINHO MR, TEIXEIRA DDB, PEREIRA GT, LA SCALA N. Soil CO₂ emission associated with liming in area of conversion of orange for sugar cane. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 885-898, 2014.

SILVA, A. A.; FILHO, A. L. S.; KAZAMA, D. C. S.; ARGANGÊLO, P.; SOUZA, M.; PICCOLO, M. C.; FARLEY, J.; SINISGALLI, P. A. A. Estoques de carbono e nitrogênio no Sistema Silvipastoril de Alta Biodiversidade: nucleação aplicada permitindo a produção pecuária de baixo carbono. **Revista Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 10, 2020.

SILVA, R.G.C. Amazônia globalizada: da fronteira agrícola ao território do agronegócio: o exemplo de Rondônia. **Confins**, v. sp, n. 23, p. 1-20, 2015.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, v.8, p.1-8, 2013.

SMART, D.R.; PEÑUELAS, J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. **Appl. Soil Ecol.**, v. 28, p. 247-57, 2005.

SMITH, K., BALL, T., CONEN, F., DOBBIE, K., MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **Eur. J. Soil Sci**, v. 54, p. 779–91, 2003.

SMITH, T.T.; ZAITCHIK, B.F.; GOHLKE, J.M. Heat waves in the United States: Definitions, patterns and trends. **Clim. Change**, v. 118, p. 811–825, 2013b. doi:10.1007/s10584-012-0659-2.

SOE, A. R. B.; BUCHMANN, N. Spatial and temporal variations in soil respiration in relation to stand structure and soil parameters in an unmanaged beech forest. **Tree Physiology**, v. 25, n. 11, p. 1427-1436, 2005.

SOUZA, L. D. **Emissão de CO₂ do solo em pastos degradado, manejo e consórcio silvipastoril no Cerrado**. 2020, 65 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, São Paulo, 2020.

SOVACOOOL, B. K.; GRIFFITHS, S.; KIM, J.; BAZILIAN, M. Climate change and industrial F-gases: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options for reducing synthetic greenhouse gas emissions, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 141, 2021.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1990. 183 p.

TAVARES, R. L. M.; SIQUEIRA, D. S.; PANOSSO, A. R.; CASTIONI, G. A. F.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N. Manejo do solo em canaviais afetando os fluxos de CO₂. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 73 n .6, 2016.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; PERILLO, L. I.; IAMAGUTI, J. L.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1466-1475, 2012.

TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission estimated by different interpolation techniques. **Plant and Soil**, v. 345, n. 1-2, p. 187-194, 2011.

TORRALBA, M.; FAGERHOLM, N.; BURGESS, P. J.; MORENO, G.; PLIENINGER, T. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 230, n. 1, p. 150-161. 2016.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SANTOS, R. D.; CASTRO NETO, F. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 647-655, 2013.

TORRES, CMME, JACOVINE, LAG, NOLASCO DE OLIVERA NETO, S. et al. Emissões de gases de efeito estufa e sequestro de carbono por sistemas agroflorestais no sudeste do Brasil. **Sci Rep**, v 7, 2017.

TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeitos de fatores físicos e químicos sobre os microrganismos do solo umidade e aeração. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, p. 60-89. 1992.

USSIRI AN, LAL R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. **Soil & Tillage Research**, v. 104, p. 39-47, 2009.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. AN OVERVIEW OF SOIL QUALITY. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

WMO - World Meteorological Organization. **State of the Global Climate 2020**. 2020. 38p.

XAVIER, C. V.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; SANTOS, G. A. A.; BARBOSA, M. A.; MILORI, D. M. B. P.; RIGOBELLO, E.; CORÁ, J. E.; LA SCALA JÚNIOR, N. Crop rotation and succession in a no-tillage system: Implications for CO₂ emission and soil attributes. **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**, v. 245, p. 8-15, 2019.

XIE, S.P.; DESER, C.; VECCHI, G.A.; COLLINS, M.; DELWORTH, T.L.; HALL, A.; WATANABE, M. Towards predictive understanding of regional climate change. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 921-930, 2015.

XU, M.; QI, Y. Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a Young ponderosa pine plantation in northern California. **Global Change Biology**, Oxford, v. 7, n. 6, p. 667-677, 2001.

YUE, Q.; XU, X.; HILLIER, J.; CHENG, K.; PAN, G. Mitigating greenhouse gas emissions in agriculture: From farm production to food consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 1011-1019, 2017.

2 APLICAÇÃO DA META ANÁLISE EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO PECUÁRIA

RESUMO

O aumento dos níveis globais de gases de efeito estufa (GEE) vem ganhando destaque nas últimas décadas, principalmente aquelas ligadas a práticas extensivas de criação bovina. A organização das nações unidas (ONU) junto a vários países tem buscado alternativas para minimizar tais impactos, podendo destacar dentre outros, o incentivo a utilização de sistemas integrados de produção agropecuária. Estes sistemas se destacam por sua capacidade de melhorar a rentabilidade econômica da produção, à medida que se tornam capazes de fixar carbono orgânico do solo e não permitindo que este se perca para atmosfera na forma de dióxido de carbono (CO₂). Desta maneira, este tema tem ganhado destaque na comunidade científica, bem como, a necessidade crescente de mais publicações neste sentido. Pesquisas demonstram que o uso de métodos como a meta-análise se destaca como importante forma de exploração desta vasta temática. Sendo assim, fazendo uso da meta-análise, o presente estudo objetivou-se avaliar a crescente presença nas pesquisas no Brasil e no mundo de sistemas integrados de produção. Para isso, foi utilizado a plataforma de indexação científica Scopus para o levantamento bibliográfico, delimitado pela palavra-chave “Livestock Forest System”, de 1950 a 2020. Foram avaliados trabalhos em diferentes países, áreas de pesquisas, tipos de trabalhos, afiliação dos autores, afiliações de instituições e agência de fomento. Os resultados demonstram que ao longo das décadas, houve um aumento da exploração de trabalhos científicos sobre o tema estudado. Observou-se também, que os Estados Unidos e o Brasil são os países que mais exploram este tipo de estudo. Estes países ganham destaques, possivelmente, pela influência de políticas públicas de governo envolvendo a mitigação de GEE. Portanto, pode-se concluir que sistemas integrados de produção vem se destacando como tema relevante para comunidade científica, e também que a meta-análise se destaca como importante ferramenta para esta forma de estudo.

Palavras-chave: Baixo carbono, Gases de Efeito Estufa, Integração, Produção bovina.

APPLICATION OF META-ANALYSIS IN INTEGRATED LIVESTOCK PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT

The increase in global levels of greenhouse gases (GHGs) has been gaining prominence in recent decades, especially those linked to extensive cattle breeding practices. The United Nations (UN) organization with several countries has sought alternatives to minimize these impacts, highlighting the incentive to use integrated systems of agricultural production. These systems stand out for their capacity to improve the economic profitability of the production, while they become capable of fixing organic carbon from the soil and not allowing it to be lost to the atmosphere in the form of carbon dioxide (CO₂). Hence this topic has gained prominence in the scientific community, just like the growing need for publications in this sense. Research shows that the use of methods such as meta-analysis stands out as an important way of exploring this vast topic. Thus, using the meta-analysis, the present study has the objective was to evaluate the growing presence of research in Brazil and in the world around integrated production systems. For this, the Scopus scientific indexing platform was used for the bibliographic survey, delimited by the keyword "Livestock Forest System" from 1950 to 2020. Works in different countries, research areas, the affiliation of authors and institutions, types of work, and funding agencies were evaluated. The results show that over the decades, there has been an increase in the exploration of scientific works on the subject studied. It was also observed that the United States and Brazil are the countries that most explore this type of study. These countries gain prominence, possibly due to the influence of government public policies involving GHG mitigation. Therefore, it can be concluded that integrated production systems have been highlighted as a relevant topic for the scientific community, and also that meta-analysis stands out as an important tool for this form of study.

Keywords: Low carbon, Greenhouse Gases, Integration, Bovine production.

2.1 INTRODUÇÃO

Diante do aumento do contingente populacional, a busca por sistemas mais intensificados de produção é uma das alternativas para conseguirmos atender à crescente demanda por alimento no planeta (SAATH, FACHINELLO, 2018). Isso por que, segundo a FAO uma em cada nove pessoas no mundo não têm comida suficiente para levar uma vida saudável e ativa. Isso é resultado dos sistemas de produção sendo afetados por vários eventos, sejam eles associado as mudanças climáticas, e os principais que estão relacionado com o uso e ocupação dos solos como a degradação e a perda da biodiversidade (FAO, 2021).

De acordo com estimativas, para que nossa produção agrícola global consiga atender à crescente demanda por alimentos associados a humanos, bem como para a alimentação animal, os sistemas de produção precisam crescer em 70 a 110% até o ano de 2050 (ALEXANDRATOS, 2009; TILMAN et al., 2011; WU et al., 2018). Esse fato nos apresenta, a necessidade da busca de estratégias eficazes para elevar o futuro produção de alimentos.

Em muitos sistemas agrícolas e pecuários, historicamente, a busca por aumento de produção de alimento, apresentava relação direta com o incremento no desmatamento, que acompanhava o aumento da fronteira agrícola e da produção por unidade de área, agindo assim insustentavelmente para resiliência do sistema. Todavia, para reforçar a necessidade de mudança buscando maiores produtividades e maior segurança alimentar, existe a necessidade da intensificação do uso da terra (FORBORD; VIK, 2017).

De fato, que nas últimas décadas, houve uma crescente busca para uma maior intensificação nos sistemas de produção (RAY et al., 2013) tanto no Brasil como no mundo. Essas intensificações são advindas, principalmente, da mudança na gestão do uso da terra. A entrada de sistemas de integração Pecuária-floresta (PF), Lavoura-pecuária (ILP) e Integração Lavoura-pecuária-floresta (ILPF), são alternativas que estão sendo buscadas para serem implantadas em sistemas agroalimentares, que antes apresentava-se em condições de degradação do solo ou em forma de monocultura com apenas uma única atividade rentável. Tratando-se da degradação de áreas, importância no estabelecimento dos sistemas integrados de produção passa a

ser importante, por que só no cerrado que um dos maiores produtores agrícolas do Brasil, apresenta 32 milhões de hectares de pastagens degradadas, com 60% de sua área total de pastagens cultivadas (SOARES et al., 2020).

Esses sistemas de integração, atua na melhoria nas condições de sustentabilidade em contribuintes ecossistêmicos (LEMAIRE et al., 2014), melhorando os atributos químicos através do incremento no carbono orgânico, fertilidade dos solos, físicas atuando na estrutura (STIVEN et al., 2014; ASSIS et al., 2015) e biológicas potencializando atividade de microrganismos benéficos do solo (ZAGO; BARBOSA; CARAMORI, 2019), intensificando em uma área diferentes meio de produção, além de melhorar a sustentabilidade ambiental e financeira do sistema.

Algumas estratégias para avaliar a evolução dos sistemas de integração podem ser observados, sejam eles de maneira qualitativas através de uma avaliação superficial do cenário em estudo, como também, com o uso da estatística através de meta-análise. A meta-análise consiste em uma metodologia de análise que nos permite combinar os dados de pesquisa para a obtenção de dados mais abrangente (MARTINS; PINHO, 2002). Em detrimento a isso, objetivou-se com a elaboração do capítulo, elaborar o estudo da meta-análise para avaliar o avanço de sistemas integrados de produção no Brasil e no mundo utilizando o termo “Livestock Forest Systems”.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Origem do estudo

O estudo foi desenvolvido através de uma meta-análise. Para isso, foram empregados levantamentos em plataforma indexada Scopus em março de 2021, com o intuito de avaliar a evolução de estudos mundiais, levando em conta séries temporais disponíveis em plataforma acerca de sistema de Integração Pecuária-floresta.

2.2.2 Procedimentos metodológicos e levantamento de dados

Para o levantamento, foram buscados artigos presentes na base de dados Scopus buscando em títulos, palavras-chaves e resumos que continham

o termo “Livestock Forest Systems” (FIGURA 1), seguindo uma série temporal disponível na mesma plataforma que continham informações de 1958 a 2021. Dessa forma, através deste levantamento, buscou-se entender como ocorreu a evolução de estudos envolvendo o tema trabalhado, que diante do termo pesquisado o foco era compreender sobre a integração de sistemas de produção, dando destaque para a sistemas de integração pecuária e floresta.

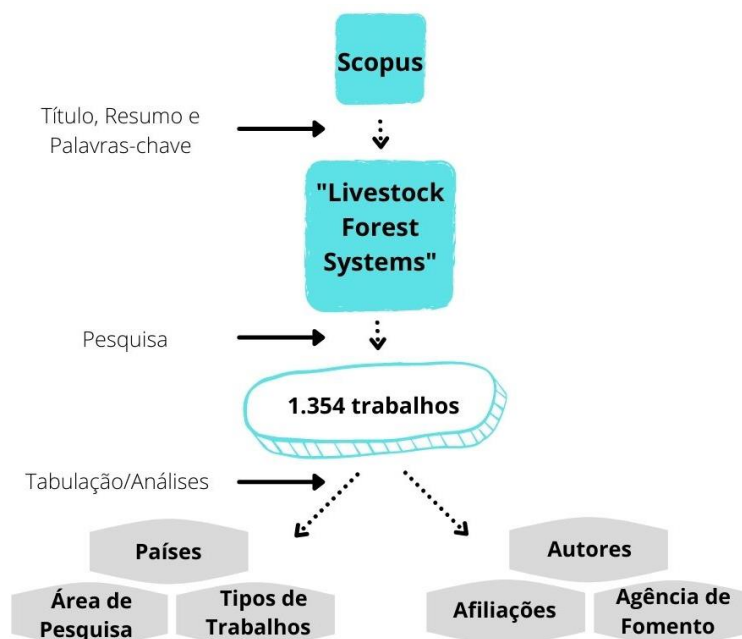


Figura 1 - Sistema de busca e levantamento dos metadados com o termo Livestock Forest Systems em base Scopus.

Após a busca pelo termo na base de dados SciVerse Scopus para a meta-análise, foram avaliados os trabalhos desenvolvidos distinguindo-se países, áreas de pesquisas, tipos de trabalhos, afiliação dos autores, afiliações de instituições, e agencia de fomento. Tais informações foram filtradas por ano, quantidade, décadas e anos iniciais de cada década para avaliar a evolução de trabalhos que contribuiriam nesses estudos em todo mundo.

2.2.3 Análise e manipulação dos dados

A pesquisa com o termo “Livestock Forest Systems” apresentou uma quantidade de 1.354 trabalhos publicados, após essas informações foram tabulados os metadados, manipulados em documento eletrônico e posteriormente analisados. Para a análise dos dados, foi avaliado a série

temporal e feito as análises quantitativas, para manipulação dos componentes gráficos elaborados com o auxílio do software SIGMAPLOT 12.1.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apontam que houve variação temporal no número de trabalhos com o termo “Livestock Forest Systems” publicados na plataforma Scopus a partir dos anos de 1958 até o de 2020. A busca pelo termo deu-se por tratar de um importante sistema de integração utilizado para otimização e melhoria das condições de manejo. O sistema de integração pecuária-floresta é um dos mais promissores para a implantação de sistemas mais complexos e intensivos de produção, podendo atuar, nas condições de incremento de teores de matéria orgânica dos solos (GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015). Como consequência, contribui para a manutenção da fertilidade, melhorando aspectos produtivos como produção de biomassa e possibilitando boas taxas de lotação animal no sistema (BUNGENSTAB, 2012; CARVALHO et al., 2014).

Ao comparar os anos de 1958 a 2020 houve um aumento exponencial no número de trabalhos publicados, com crescimento de mais de 150 vezes o número em 2020 comparado com 1958, demonstrando que ano após ano está havendo uma crescente busca para o desenvolvimento de trabalhos a respeito de sistemas que envolvam práticas de pecuária e floresta em integração em todo mundo (FIGURA 2).

Possivelmente, esse crescimento está relacionado com a revolução verde ocorrido após 1970, quando a demanda por produção de alimentos aliado a evolução da tecnificação no campo, atuou no aumento da simplificação dos sistemas com pouca preocupação com práticas agrícolas integradas, e assim, nessas práticas simplificadas e padronizadas, destacavam o monocultivos (BALBINO et al., 2011). Outros autores como Oliveira; Pantoja e Brisola (2016), apontam que após a revolução verde houveram reflexos negativos a sustentabilidade ambiental, pelo uso de muitas tecnologias no campo, por isso houve a necessidade de mudança de paradigma e pensar no viés da sustentabilidade.

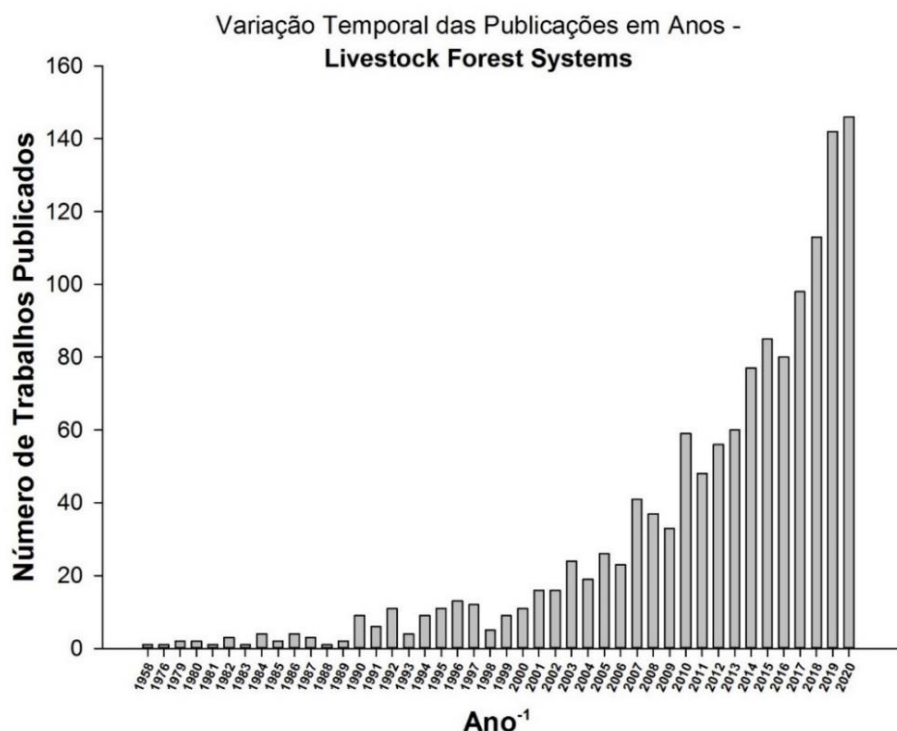


Figura 2 - Variação temporal das publicações em anos com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus 1958 a 2020.

A discussão acerca de sistemas integrados de produção, teve foco inicial baseado em aspectos relacionados a melhoria nas condições dos solos, prevenção de processos de degradação, pragas e doenças no campo que diretamente influenciava nos aspectos produtivos, baixa produtividade e alta erosão (HERNANI et al., 2002). Porém, após os anos 90, outra preocupação mundial foi aparecendo, e foi discutido em 1992 durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que ocorreu no Rio de Janeiro, denominada “convenção do clima”, onde apresentaram possíveis alternativas para sustentabilidade climática das gerações futuras, precavendo os possíveis problemas ocasionados pelas mudanças climáticas. Por isso, foi formado a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que buscou traçar estratégias e acordos com os países para buscar diminuir a emissão de GEE para atmosfera, fazendo com que a emissão de muitos países fosse mínima, bem como interferência antrópica no sistema, elaborando assim, compromissos assinados e postos em execução em 1994, com o Brasil sendo o primeiro país a assinar (BRASIL, 2013).

Após a convenção do clima, os estudos sobre os GEE passou a ser uma das mais importantes questões ambientais (BÖHRINGER, 2003), um dos principais gases em estudo foi a prevenção da emissão do dióxido de carbono que é um importante agravador do efeito estufa, assim uma maneira de evitar a emissão é diretamente na agricultura, evitando práticas de desflorestamento, inserindo sistemas integrados de produção como sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, pecuária-floresta, melhorando as boas condições dos agroecossistemas (IPCC, 2007), fazendo do solo ao invés de um emissor, se torne um sumidouro de carbono.

Ao avaliar as publicações por décadas (FIGURA 3) nota-se o crescimento exponencial na produção de trabalhos na década de 1950 a 2010. Sendo que a década representada por janeiro de 2010 a dezembro de 2019, nitidamente foi a que mais contribuiu com a quantidade de trabalhos publicados, chegando a ser quantificado em plataforma 818 trabalhos publicados, 332% a mais que a década anterior de janeiro de 2000 a dezembro de 2009 com 246 trabalhos.

Essa evolução em décadas observado nessa série temporal, é explicado pelas políticas e convenções mundiais para discutir sobre mudanças climáticas. Isso por que, após a convenção do clima em 1992, houve um novo encontro que fizeram presentes 84 países desenvolvidos na cidade de Kyoto no Japão no ano de 1997 para realçar outra importante cooperação internacional entre os países para diminuição de 5,2% as emissões comparadas com o ano de 1990 denominado “Protocolo de Kyoto”, após muitas contravenções alguns países foram se retirando do tratado, enquanto outros não cumpriram com os acordos de cooperação (SCHIMIDT; OCKENFELS, 2021). Esses tratados elaborados antecedendo a década de 2000 impulsionaram uma série de trabalhos que estudassem mitigações da emissão de GEE na agricultura, porém, para autores como McKibbin e Wilcoxon (2002), o acordo era politicamente falho, e possivelmente não foi obtido os resultados esperados.

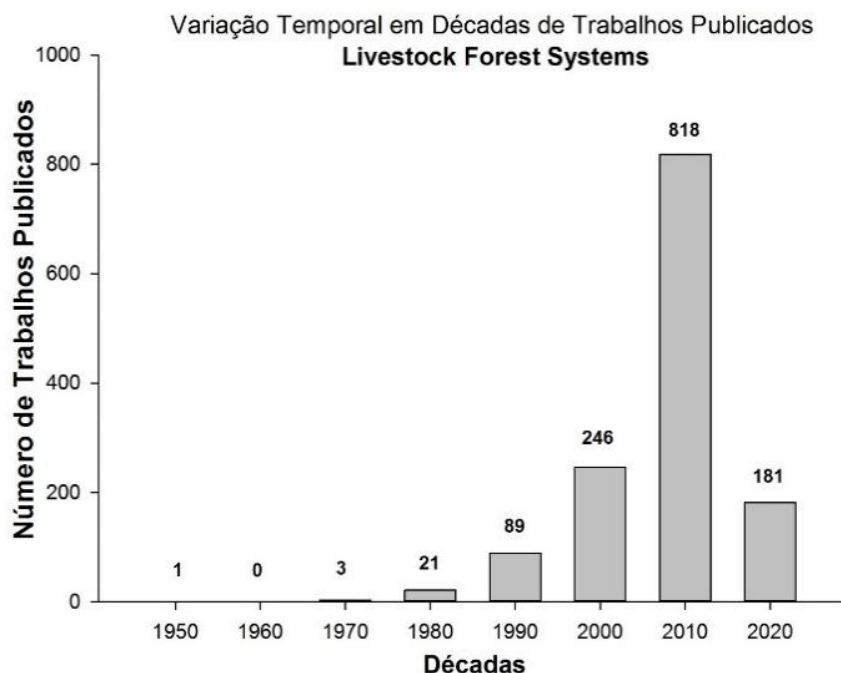


Figura 3 - Variação temporal em décadas de trabalhos publicados com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus 1958 a 2020.

Tratando-se de Brasil, outros planos desenvolvidos podem ter contribuído para o aumento no número de trabalhos quando observado a série temporal das décadas em estudos. Um deles foram alguns programas e planos que buscaram trazer melhorias em aspectos como recuperação de áreas degradadas, além de atuar possivelmente, na mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) de sistemas. Sendo assim, um dos principais planos que contribuiu para o aumento de trabalhos no Brasil foi o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC) que foi criado em 2009 e colocado em prática a partir do ano de 2010, buscando realçar e contribuir com vários aspectos de fortalecimento econômico com viés ambiental, com o intuito de reduzir as emissões de GEE (OLIVEIRA; PANTOJA; BRISOLA, 2016) para o não agravamento do efeito estufa.

A Figura 4 apresenta os contratos firmados e gastos após criação do plano ABC, houve uma variação em contratos elaborados pelos planos e gastos, onde 2014/15 e 2015/16 foram os anos que mais apresentaram contratos e gastos com o programa, seja na elaboração de trabalhos e no desempenho de práticas no campo que contribuísse para a tecnologia e implementação de sistemas integrados com menor potencial emissor de GEE.

Por isso, logo após o advento do Plano ABC, inúmeros setores públicos, agências de fomentos, afiliações desempenharam contribuições com esses estudos que ajudaram a impulsionar a ciência brasileira, resultando neste aumento expressivo pós o ano de 2010.

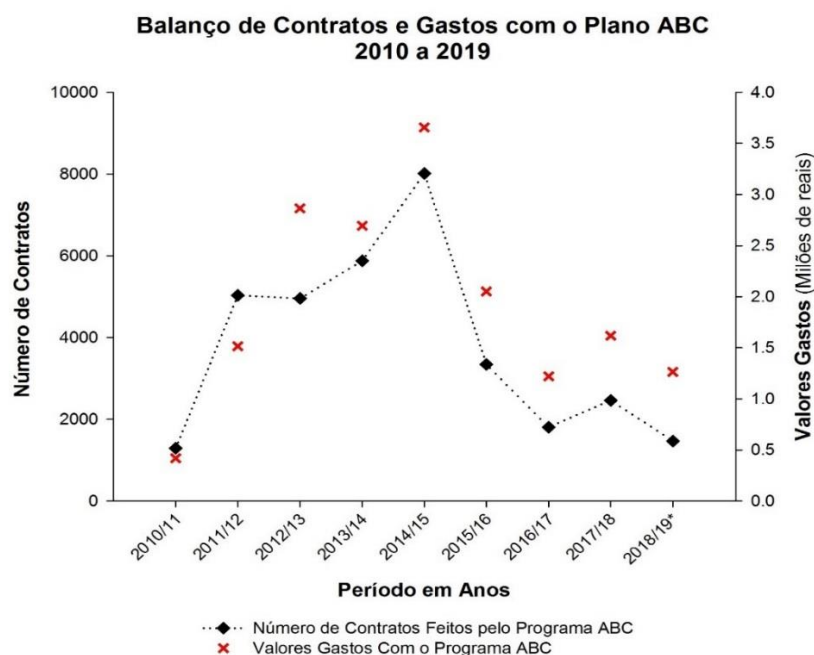


Figura 4 - Contratos e gastos com o Plano ABC do ano de 2010 a 2019.

Uma das principais demandas do plano ABC foi estimular a implantação de sistemas integrados como integração lavoura-pecuária-floresta, pecuária-floresta e integração lavoura-pecuária, para que através dessas práticas de integração contribuísse para reduzir as emissões de GEE dos sistemas agrícolas de produção, para não contribuir com práticas de mudanças climáticas.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o Plano ABC foi estruturado por aproximadamente 7 programas, sendo que 6 deles referentes às tecnologias de mitigação sustentável e o sétimo voltado a mitigação das mudanças climáticas (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL, 2012). Neste, fazia parte programas visando recuperação de pastagens degradadas, para melhor equilíbrio de acúmulo de carbono dessas áreas (PROGRAMA 01), sistemas integrados de produção agrícolas como Integração Lavoura Pecuária-Floresta “iLPF” e sistemas de integração agroflorestais “SAFs” (PROGRAMA 02), prática de plantio com

cobertura do solo, o mais conhecidos como plantio direto “PD” (PROGRAMA 03), redução do uso de fertilizantes nitrogenados, fazendo o incremento da tecnologia de fixação biológica de nitrogênio “FBN” (PROGRAMA 04), a prática de reflorestamento de áreas desflorestadas (PROGRAMA 05), tratamento de dejetos de animais nos sistemas (PROGRAMA 06), e por fim, as práticas que visou aumentar a adaptação as mudanças climáticas (PROGRAMA 07), onde todos esses programas dentro do plano possibilitou o crescente número de estudo com o passar dos anos, décadas e os primeiros dois anos de cada décadas, principalmente após 2009 que foi o ano de implantação do plano ABC (BRASIL, 2016). Todavia, quando avaliado os aspectos que concernem as publicações por países, notamos que os países que mais destacaram em publicações de 1950 a 2020 foram os Estados Unidos com 285 e Brasil com 244 trabalhos publicados, mais do que o dobro de trabalhos desenvolvidos por importantes países como Índia, Alemanha, Espanha e Reino Unido que contribuíram com 98, 89, 87 e 79 trabalhos publicados, respectivamente (FIGURA 5).

A expressividade e representatividade desses dois países, com destaque no cenário para os Estados Unidos e Brasil, se deu pois ambos apresentavam importante parcela no cenário agrícola, sendo os países que despontavam como os maiores produtores de grãos mundial, e como houve o incremento de cooperações internacionais, como a Convenção do clima (1992), Protocolo de kyoto (1997), Acordo de paris (2015), e, para o Brasil houveram os Planos ABC (2009) e a Conferência brasileira para mudança climática (2019), foram importantes para aumentar as discussões de sistemas mais integrados de produções e aumentar o número de pesquisas em todo o mundo.

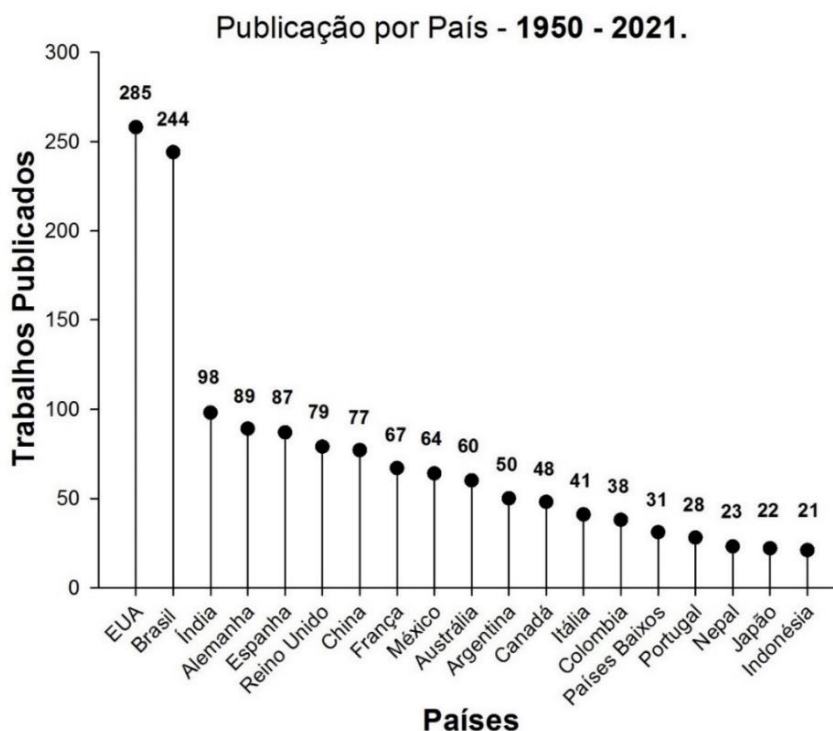


Figura 5 - Frequência de trabalhos publicados por país com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2021.

Para entender melhor acerca da contribuição científica por país, separamos os principais contribuintes para uma série temporal, destes foram filtrados os 5 mais importantes como Estados Unidos, Brasil, Índia, Alemanha e Reino Unido para entender essa variação nas décadas de 1950 a 2020 (FIGURA 6). É observável que as décadas de 1950, 1960 e 1970, praticamente não houveram contribuições científicas acerca dos termos em estudo, apenas na década de 50 o Reino Unido fez sua primeira contribuição acerca do assunto e em 70 os Estados Unidos. Diante disso, o primeiro artigo publicado foi em 1958 no periódico *Grass and Forage Science Service*, pelo britânico G. Maxwell Davies que buscou elucidar sobre a prática de integração gado, forragem e agricultura nas terras do mediterrâneo, sendo uma das primeiras e importantes contribuições acerca do tema, enquanto que em 1976 os americanos W. Theodore Meador e Merle C. Prunty publicaram no periódico *Annals of the Association of American Geographers*, o trabalho *Open-Range Ranching in Southern Florida*, que buscaram apresentar alguns padrões acerca da produção de gado, e as condições de produção de forragens a partir de florestas na encosta leste da cordilheira.

Esses foram os trabalhos que inicialmente alavancaram a evolução da exploração desses sistemas integrados de produção. Isso por que, após a década de 80 houve o início de um crescimento, que foi observado de maneira mais expressiva nos anos 2000, onde foi nesta década em que o Brasil começou com suas contribuições, inclusive partindo da escala dos países que menos contribuía com trabalhos para um dos maiores contribuintes mundiais no estudo de sistemas de integração pecuária-floresta. Possivelmente, fica claro que nas décadas que antecederam 1980/90 os estudos eram aliados aos sistemas de produção poucos sustentáveis, poucos produtivos e com pouca resiliência. Por isso, segundo Albergone e Pelaez (2007) o termo agricultura sustentável era visto com total insatisfação pela agricultura convencional, porém essa agricultura convencional insustentável, passou sob necessidade, a busca das transformações em sistemas produtivos que preservasse o meio ambiente, por isso houve a mudança de estratégias e o investimento de trabalhos.

Após o ano de 2010, houveram estímulos para promover a redução das emissões de GEE na agricultura, aumentando resiliência dos sistemas e preservando os aspectos ambientais, que fizeram o Brasil em 2010 superar os Estados Unidos em número de publicações, com tendência dos anos de 2020 a 2030 de se manter como o país que mais contribui com essas produções científicas. Esse fato ocorre, pois o mundo passa por esforços, principalmente o Brasil, para otimizar os sistemas produtivos e reduzir as emissões dos GEE, isso por que, segundo o IPCC (2007), o mundo passa por alterações climáticas observada a curto prazo, pois já foi observado que a temperatura do planeta apresentou significativas alterações, aumentando 0,8°C, com estimativas de aumento de 1,4 a 5,8°C nos próximos 100 anos, reflexo disso, serão os problemas relacionados as mudanças climáticas, que refletirá em um desequilíbrio na vida de muitos seres vivos presentes no planeta.

Com isso, fica claro que os estímulos das políticas governamentais no Brasil após os anos de 2009/10 com o plano ABC, refletiu em investimentos para trabalhos acerca de estudos com sistemas integrados de produção, pensando na produção sustentável, fazendo com que o país despontasse na década para a busca de informações científicas acerca do tema. Outro

impacto que pode ter proporcionado o aumento de trabalhos não só no Brasil como no mundo, foi o acordo de Paris feito em 2015, onde nele, houve um acordo com 197 países, principalmente os Estados Unidos, Brasil, Índia e Alemanha considerados como um dos maiores contribuintes com a poluição mundial, sobre a possibilidade de limitar o aumento da temperatura para menos 2° C dos níveis pré-industriais em escala global (UNFCCC, 2015).

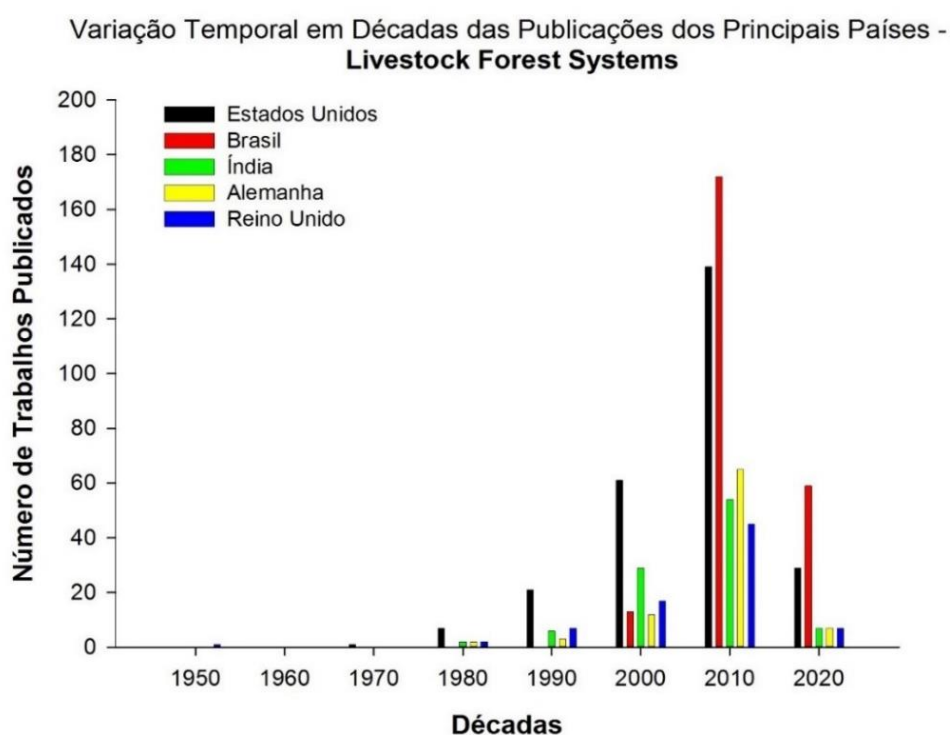


Figura 6 - Série temporal de trabalhos publicados pelos principais países (Estados Unidos, Brasil, Índia, Alemanha e Reino Unido) com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2021.

Esses trabalhos publicados em sua totalidade, são divididos em inúmeras áreas de conhecimentos, para tanto, pode-se observar que, a maior parte dos trabalhos são desenvolvidos pelas ciências agrárias e biológicas contribuindo com 821 trabalhos publicados, seguido de ciências ambientais, e, ciências da terra e planetária que apresentam importante relação com estudos que envolve sistemas dinâmicos de produção agrícola (FIGURA 7).

Entretanto, mesmo essas sendo as áreas que mais contribuíram em pesquisas científicas para os sistemas de integração pecuária-floresta, a importância desse tipo de estudo vai muito além, sendo que sua exploração

indo desde de áreas como enfermagem até veterinária e engenharias. Isso nos remete que, a exploração por sistemas mais dinâmicos capazes de buscar condições de integrar diferentes sistemas para a produção agrícola é um meio que vem sendo explorado, para que de alguma forma, atue para melhoria da rentabilidade, resiliência do sistema, manutenção da vida no solo, conforto animal, produção de energia, bem como, para mitigação da emissão de GEE seja um assunto de grande relevância e uma prática benéfica para os sistemas agrícolas.



Figura 7 - Frequência de trabalhos publicados por área de conhecimento com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2021.

Por isso, em uma série temporal das décadas, avaliando as principais áreas de conhecimento com as maiores parcelas de contribuições, os estudos iniciaram de maneira mais expressiva nas décadas de 80 e 90 com trabalhos voltados para a área das ciências ambientais, seguido das ciências agrárias e biológicas, ciências sociais, e, ciências da terra e planetária. Porém, após os anos 2000 houve um rápido crescimento da área das ciências agrárias e biológicas para essas pesquisas, com grande destaque para os anos de 2010 a 2019, que como os demais metadados apontam, foram os anos de maior crescimento neste tipo de estudo (FIGURA 8).

Esses resultados apontam que, inicialmente no ano de 1980 e 1990 a preocupação era voltada exclusivamente a preocupação ambiental, porém, nas décadas atuais, esses estudos são explorados em diferentes áreas com destaque para uma visão mais dinâmica, onde a implantação desses sistemas de produção, vai muito além do ganho ambiental, mas econômico também, atendendo os princípios da manutenção da vida no sistema, por isso o crescimento de estudos das ciências agrárias e biológicas se destacando.

Por isso observamos em trabalhos que, o viés das ciências ambientais observado é caracterizado pelo ganho e incremento nas questões ambientais que esses sistemas de produção integrados proporcionam dentro do sistema, pois Rodrigues et al. (2019) apresentam, que o sistema de produção extrativista como o da pecuária solteira de criação a pasto, trouxeram grandes impactos ambientais como degradação e perda do potencial produtivo, por isso sistemas integrado de produção podem trazer ganhos ambientais com benefícios ao solo e recuperação de áreas degradadas que gera consideráveis incrementos econômicos. Em consonância, Alves et al. (2017) também apresentam, que sistemas após a intensificação da agricultura com uso de fertilizantes em excesso, agrotóxicos e monoculturas motivados pelo mercado mundial de commodities (BOWLER, 1992), dentro da evolução agrícola, trouxeram problemas ambientais, principalmente, pela crescente demanda para plantações e criações de bovinos, tem trazido expressivos impactos ambientais.

Possivelmente, esses fatores apresentados de impacto ao meio ambiente, que vem sendo constantemente estudado por autores, fizeram inicialmente despontarem os estudos dentro das ciências ambientais, buscando alternativas para minimizar ao máximo os prejuízos que práticas insustentáveis poderiam ocasionar e práticas sustentáveis como integração poderiam contribuir com os sistemas.

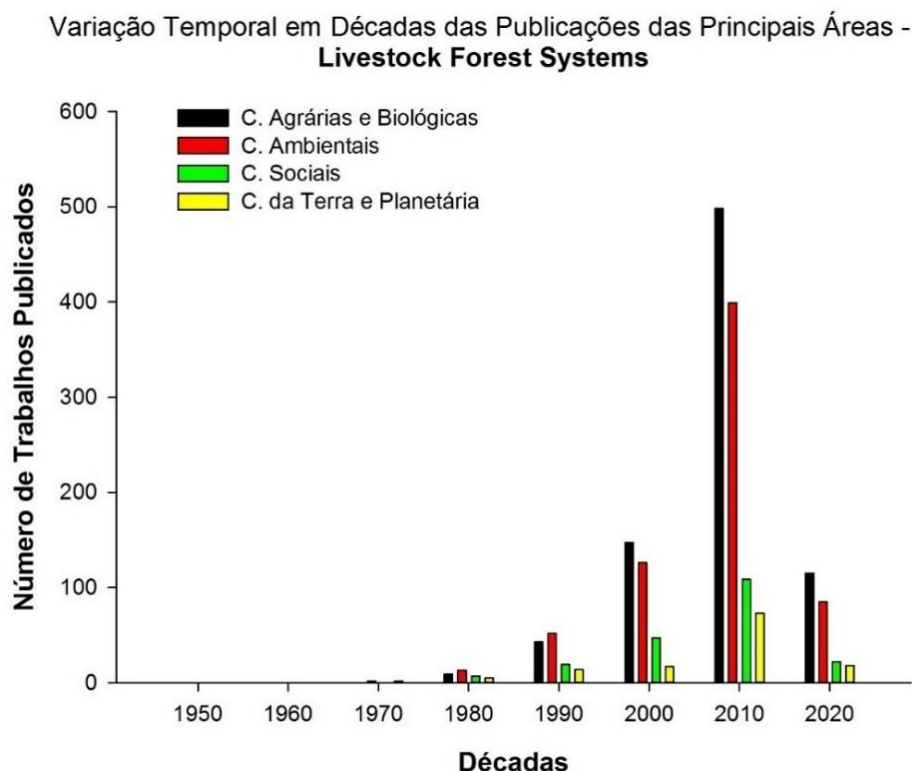


Figura 8 - Série temporal de trabalhos publicados pelos principais países (Ciências Agrárias e Biológicas, C. Ambientais, C. Sociais e C. da Terra e Planetária) com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2021.

Todavia, diante da evolução das décadas, foram observados que inicialmente houveram estímulos com questões ambientais dentro de estudos com o termo “Livestock Forest Systems”. Porém, pós evolução, também houveram destaques para as ciências agrárias e biológicas e ciências sociais. Isso por que, sistemas integrados podem apresentar-se com aptidão de trazer melhoria dentro da intensificação agrícola, melhoria na microbiota proporcionando bons retornos financeiros (C. Agrárias e Biológicas), melhorando aspectos com o bem social na diversificação de práticas agrícolas e maior resiliência do produtor (C. Sociais). Por isso, segundo Balbino; Barcelos e Stones (2013), sistemas integração tem o objetivo de melhorar os aspectos espaciais e temporal dos componentes produtivos do sistema agrícola, melhorando condições de qualidade da produção, qualidade ambiental e proporcionando maiores competitividade no mercado.

Além disso, vale lembrar que, o destaque nos dados das ciências agrárias e biológicas, além das ciências ambientais, estão interligados diante

da crescente necessidade de busca por meio que onerem retorno financeiros ao produtor, melhoria do sistema agrícola, mas pense na necessidade de estudo dentro do bem comum, que é a emissão de GEE bastante observado em sistema pecuário de produção (HRISTOV et al., 2017), buscando diminuir os efeitos deletérios do aquecimento global, isso é confirmado pois a busca por sistemas muito intensificado que busca exclusivamente o aumento de produção insustentável é responsável pelo incremento na emissão de gases poluentes, fazendo com que essa agricultura represente 13% do total das emissões (USEPA, 2014).

A maior parte da contribuição científica acerca desses tipos de estudo, tem um destaque para a publicação em forma de artigos científicos que representa 81,4% de toda a informação com o termo “Livestock Forest Systems”, seguido de trabalhos publicados em congressos com 6,9%, publicação de capítulos de livros 5,29% e revisões bibliográficas apresentando 4,9% dos estudos (FIGURA 9).

Essa diferença das contribuições em forma de artigos científicos publicados, pode ser observada através de uma série temporal de publicação por décadas, como observado na Figura 10. Nas décadas de 1950 a 70 apenas 4 artigos foram publicados, sendo desses 4 artigos, 1 foi publicado na década de 50 e 3 na década de 70. Todavia, a partir da década de 80 as contribuições foram mais acentuadas com 23 artigos científicos publicados, enquanto a década de 1990, 2000 e 2010 as publicações apresentaram valores expressivos com 74, 191 e 665 artigos publicados, representando aumentos de 321%, 830% e 2891%, respectivamente para cada década.

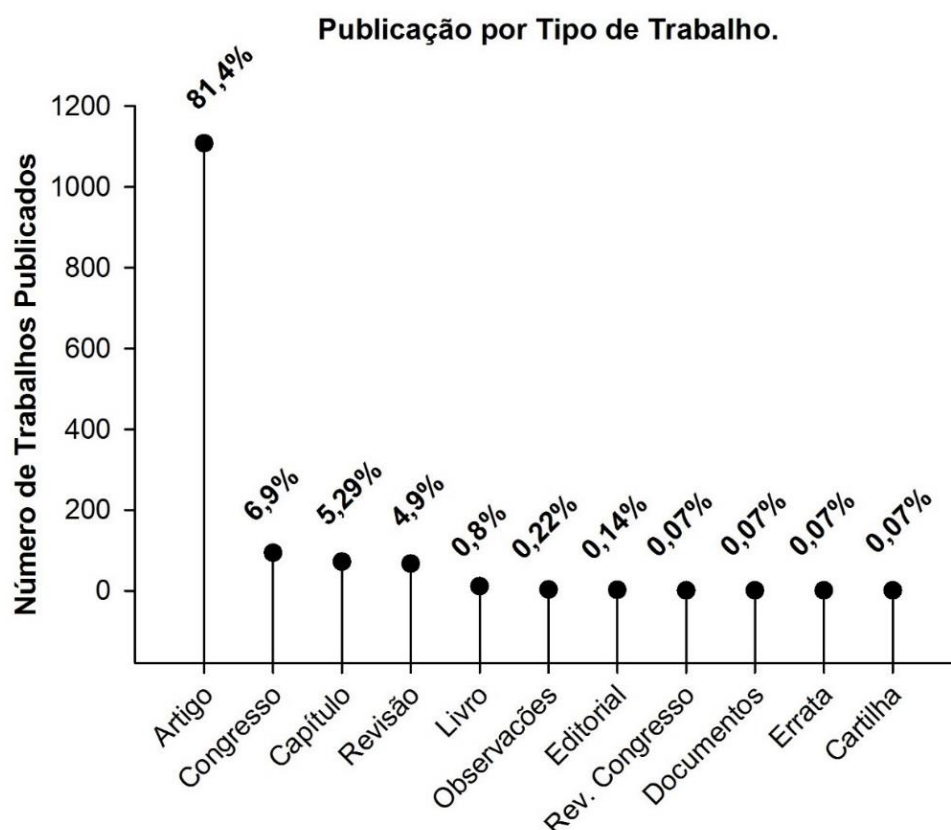


Figura 9 - Frequência de trabalhos publicados por tipo de trabalho com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2021.

Já em 1990 foi a década que apresentou os primeiros trabalhos publicados em congressos com 6 trabalhos publicados, os primeiros artigos de revisões 8 trabalhos e o primeiro livro publicado, até que na década de 2000 e 2010 se consolidou ainda mais essas publicações sendo 450% e 776%, 200% e 412%, 200% e 800% de aumento, respectivamente. Enquanto a publicação de capítulo de livro que da década de 90 não havia sido publicado, na década de 2000 e 2010 apresentou valores de 10 e 60 trabalhos publicados, ambos com potencial de na década de 2020 ultrapassar esses valores observados em cada década na série temporal.

Como já observado dentro da evolução de outros metadados estudados, é notável que houveram evoluções nas publicações de trabalhos com o termo estudados, onde apresenta que, mesmo com a contribuição de artigos científicos como destaque, todos os principais meios de publicação apresentavam crescente evolução. Tudo isso, possivelmente, é resultado do estímulo em estudos acerca da emissão de GEE e as mudanças climáticas no

planeta (KEMP, 1991; RAMANATHAN; FENG, 2009; ZEVENHOVEN; BEYENE, 2009; AL-GHUSSAIN, 2019).

Para tanto, além de tratados de cooperação acerca dos prejuízos com as mudanças climáticas, como o convenção do clima, protocolo de kyoto, acordo de Paris de âmbito internacional, e outras políticas nacionais como planos ABC e a política nacional sobre as mudanças do clima, atuaram positivamente no aumento nos trabalhos no decorrer dos anos e no desenvolvimento de pesquisas, e mesmo assim, segundo o Observatório do Clima (2020), sugere que mesmo com esforços, países como Brasil não conseguirá concluir as metas de redução da emissão de GEE, assim dificultando essa e outras metas futuras.

Varição Temporal em Décadas de Publicação dos Principais Tipos de Trabalhos -
Livestock Forest Systems

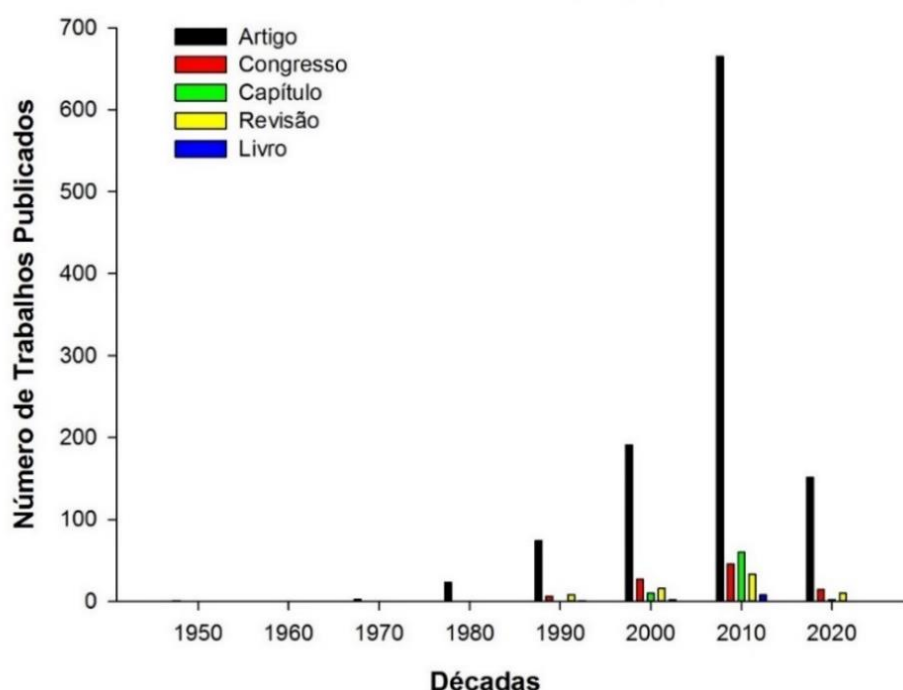


Figura 10 - Série temporal de trabalhos publicados pelos principais tipos de trabalhos (Artigo, Congresso, Capítulo, Revisão e Livro) com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2021.

Ademais, se tratando das contribuições por autores e por nacionalidade (FIGURA 11), observamos que dos 14 primeiros que mais contribuíram com pesquisas temos a Índia e a Espanha contribuindo com 28,5% cada país com trabalhos, seguida do Brasil com 21,4%, México com 14,2% e Argentina com

7,14%. Desses, os autores que mais contribuíram para o progresso dessas informações foram Rakesh Kumar Mairuki que é um importante pesquisador indiano que detém 12 publicações na área, outros destaques está o pesquisador brasileiro Dilmar Baretta da Universidade do Estado de Santa Catarina e o espanhol José Antônio Lopez-saez do Instituto de História da Espanha ambos com 9 publicações, além do pesquisador mexicano Fernando Casanova-lugo do Instituto tecnológico nacional do México e o indiano Rao da Universidade de Dolhi com 8 publicações cada, demonstrando que a busca por trabalhos acerca desses sistemas vem sendo buscado por inúmeros pesquisadores em caráter mundial.

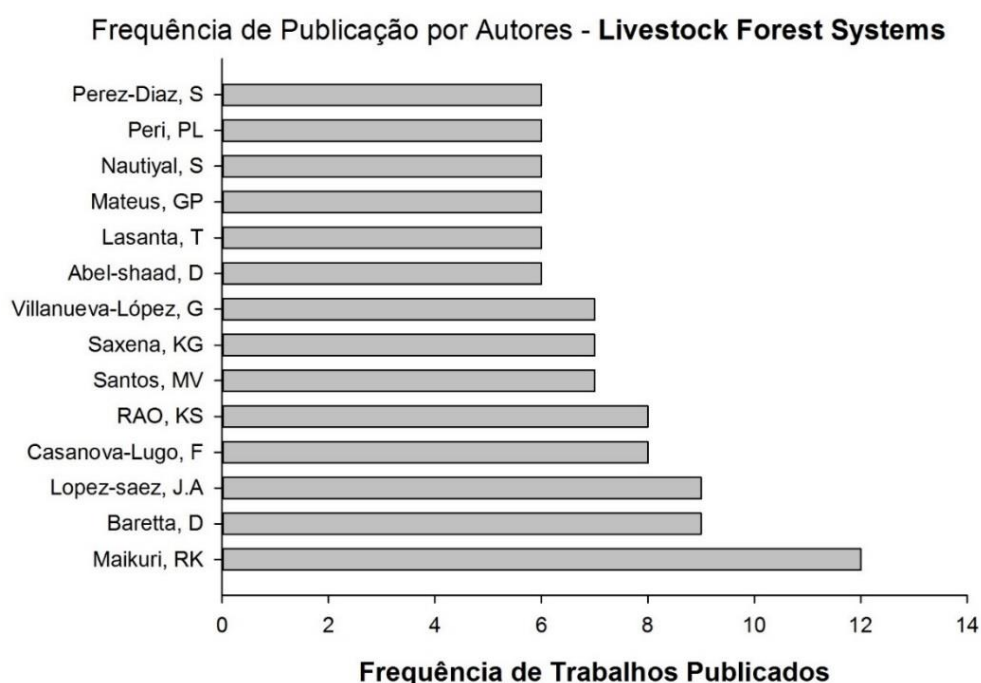


Figura 11 - Frequência da publicação por autores de trabalhos publicados com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1950 a 2021.

Em detrimento as afiliações e entidades de fomentos, ao observarmos as 10 afiliações que mais contribuíram para publicações (FIGURA 12) e as 10 agências de fomento que mais investiram com o financiamento de pesquisas acerca do tema (FIGURA 13), logo vemos que 50% de ambos são brasileiras, isso por que, o Brasil vem constantemente buscando através de políticas empregar a mudança de algumas práticas agrícolas para transição para atividades de baixa emissão de carbono.

Para as afiliações, a maior contribuição vem de pesquisas desenvolvidas pela Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA) com 98 trabalhos publicados, Universidade de São Paulo (USP) com 34, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas e Técnicas da Argentina (CONICET) com 26, Universidade Federal de Viçosa (UFV) com 22, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) com 20, Universidade Estadual Paulista (UNESP) com 20, Chinese Academy of Science (CAS) com 20, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) com 17, Wageningen University & Research (WUR) com 16 e University of Florida (UF) também com 16 trabalhos publicados em plataforma.

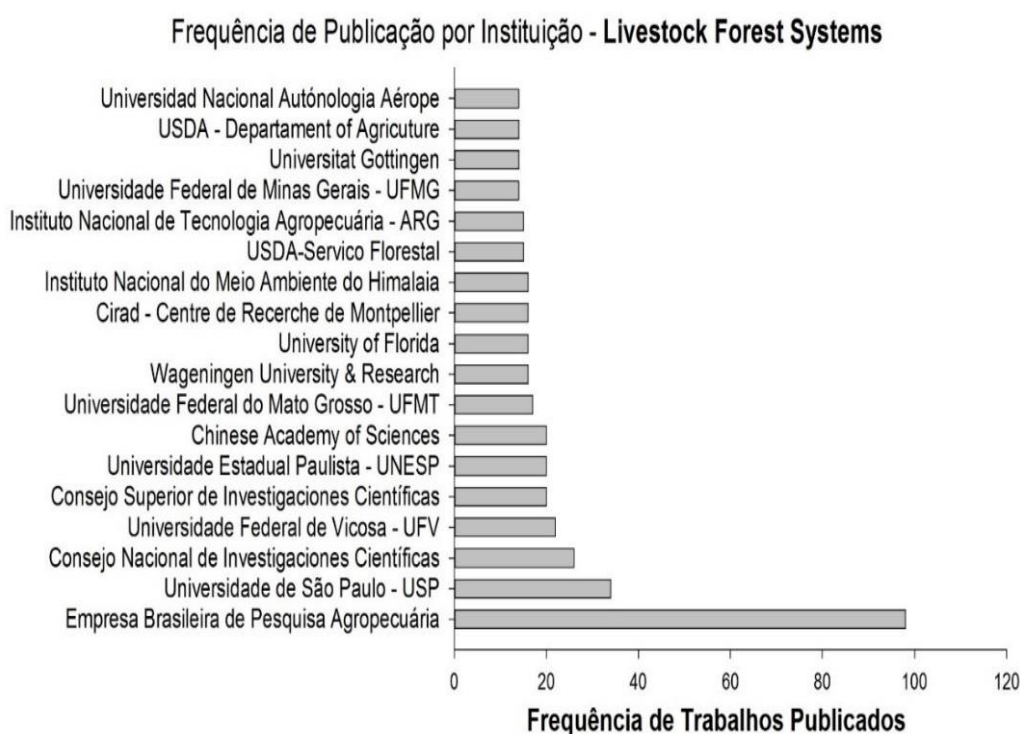


Figura 12 - Frequência de publicação por instituição relativos aos trabalhos com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1958 a 2021.

As agências de fomento que mais contribuíram com o financiamento de pesquisas, temos com Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) que financiou 54 trabalhos publicados, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) com 49 trabalhos financiados, Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP) com

23, Comissão Europeia com 20, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACY) com 16, Natural Environment Research Council (NERC) com 12, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) com 11, Fundação Nacional de Ciências Naturais da China (NSFC) com 11, Fundação Nacional de Ciências dos Estados Unidos (NSF) com 11 e a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) com 10 trabalhos financiados (FIGURA 13).

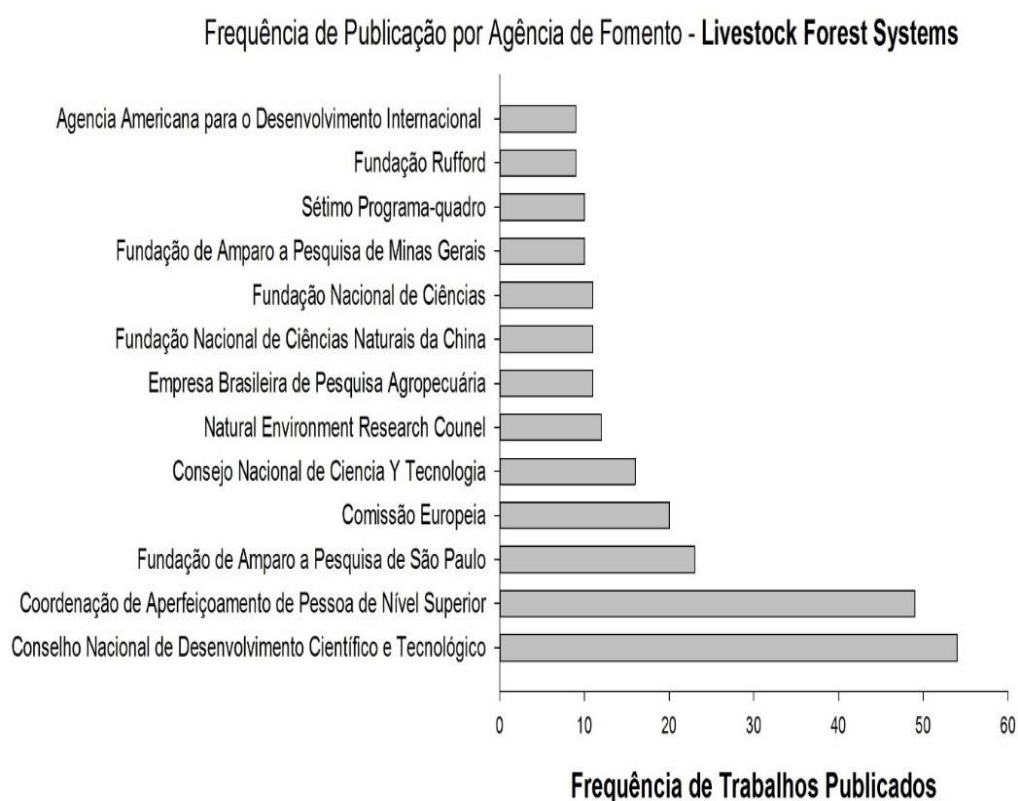


Figura 13 - Frequência de trabalhos publicados por agência de fomento com o termo “Livestock Forest Systems” em plataforma Scopus de 1958 a 2021.

Diante de vários autores, nacionalidades, afiliações e agências de fomentos, observa-se a necessidade e a busca com o passar dos anos no que diz respeito aos estudos com os termos “Livestock Forest Systems”, isso porque, a integração de sistemas pode contribuir para inúmeros benefícios, como na otimização na eficiência no uso de insumos, adequação ambiental, intensificação no uso da terra com racionalidade, recuperação de áreas degradadas, melhoria das condições agrícolas, conservação do solo e água (BALBINO; BARCELOS; STOKES, 2011), além de promover menor perda de

matéria orgânica do solo, reduzindo assim, através de mudança no manejo a emissão de GEE, principalmente o CO₂, afirmando trabalhos de Figueiredo et al. (2017) que apresenta que mudanças na gestão dos solos, alterando de áreas degradadas para bem manejadas como é o caso da integração pecuária-floresta, reduz os efeitos da emissão, resultados esses também confirmados através de simulações retratadas por Damian et al. (2021).

Possivelmente, diante da realidade do aquecimento global e a necessidade de aumentar práticas de mitigação da emissão dos GEE no planeta, é observado que os estudos tenderão a aumentar como observado até os dias atuais na pesquisa, explorando termos específicos de integração, principalmente se tratando de sistema de Pecuária-floresta como foi o caso do presente estudo, para que assim, possamos ter maiores contribuições junto a ciência de estudos que busquem a sustentabilidade dos sistemas de produção.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observada evolução temporal nos estudos com o termo “Livestock Forest Systems” da década de 1950 até 2020, isso demonstra o potencial a ser explorado de sistemas integrados de produção. Dessa forma, o crescente número de estudos e trabalhos sugere que o tema está relacionado ao interesse da ciência, principalmente, para a mitigação da emissão de GEE buscando a prevenção das mudanças climáticas.

Das importantes contribuições, o Estados Unidos e o Brasil são maiores contribuintes com trabalhos científicos na plataforma Scopus, sendo que, a partir da década de 2000 o Brasil apresentou as maiores contribuições com as pesquisas, influenciadas principalmente, por políticas de prevenção a emissão de GEE, com a maioria das contribuições desses países, através de publicações em forma de artigos científicos das áreas de conhecimento voltada as ciências agrárias e biológicas e ciências ambientais.

No balanço das instituições de afiliações por autores, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Universidade de São Paulo (USP) destacam-se como as que mais contribuíram com as pesquisas com o termo, sendo o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o Coordenação de Aperfeiçoamento a Pessoa de Nível

Superior (CAPES) as agências de fomento que mais investiram em pesquisas. Resultado disso demonstra que a meta-análise é uma ótima alternativa para o entendimento de aspectos temporais utilizando termos como “Livestock Forest Systems”, como foi o caso da pesquisa desenvolvida.

2.5 REFERÊNCIAS

ALBERGONI, L.; PELAEZ, V. Da revolução verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? **Revista de Economia**, v. 33, n. 1, p. 31-53, jan/jun. 2007.

ALEXANDRATOS, N. **World Food and Agriculture to 2030/50 Proceedings of a Technical Meeting of Experts**. FAO: Rome, p. 1–32., 2009.

AL-GHUSSAIN, L. Global warming: review on driving forces and mitigation. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 38, n. 1, p. 13-21, 2019.

ALVES, B. J. R.; MADARI, B. E.; BODDEY, R. M. Integrated crop–livestock–forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 1, 2017.

ASSIS, P.C.R.; STONE, L.F.; MEDEIROS, J.C.; MADARI, B.E.; OLIVEIRA, J.M.; WRUCK, F.J. Physical attributes of soil in integrated croplivestock-forest systems. **Brazilian Journal of Agricultural Environmental Engineerin**, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.i-xii, out. 2011.

BALBINO, L.C., BARCELLOS A.O. & STONE, L.F. "Reference Document Crop-Livestock-Forestry Integration", EMBRAPA, v. 1, 2011.

BOHRINGER, C. The Kyoto Protocol: A Review and Perspectives. ZEW Discussion Papers, **Centre for European Economic Research (ZEW)**, Mannheim, p. 03-31, 2003.

BOWLER, L. The industrialization of agriculture. **The geography of agriculture in developed market economies**, p. 7-31, 1992.

BRASIL, - Ministério de Meio Ambiente. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)**. Clima. 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencaodas-nacoes-unidas>>. Acesso em 01 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**. Brasília: MAPA/ACS, 2012. (Plano ABC: Agricultura de Baixa Emissão de Carbono).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. Brasília: MAPA, 2019.

BUNGENSTAB. **Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta – A Produção Sustentável**, 2nd ed., Brasília: EMBRAPA, 2012.

CARVALHO, J.L.N., RAUCCI, G.S., FRAZAO, L.A., CERRI, E.C., BERNOUX, M., CERRI, C.C. "Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gases emissions in the Brazilian Cerrado". **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 183, n. 1, pp. 167-175, 2014.

DAMIAN, J. M.; SILVA MATOS, E.; PEDREIRA, B. C.; FACCIO CARVALHO, P. C.; WILLIAMS, S.; PAULISTIAN, K.; CERRI, C. E. P. Predicting soil C changes after pasture intensification and diversification in Brazil. **Catena**, v. 202, n. 105238, p. 1-13, 2021.

FAO. **Food Systems**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Home. Disponível em: <<http://www.fao.org/food-systems/en/>>. Acesso em: fev. 2021.

FIGUEIREDO, E. B.; AYASUNDARA, S.; OLIVEIRA BORDONAL, R.; BERCHIELLI, L. WAGNER-RIDDLE, C.; LA SCALA JR, N. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, n. 20, p. 420-431, 2016.

FORBORD, M. VIK, J. Food, farmers, and the future: Investigating prospects of increased food production within a national contexto. **Land Use Policy**, v. 67, p. 546-557, 2017.

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, n. 1, p. 394-406, 2015.

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L. de; PRUSKI, F.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, FILHO, C. de; LANDERS, J.N. A erosão e o seu impacto. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J.R.R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.47-60, 2002.

HRISTOV, A.N., OH, J., LEE, C., MEINEN, R., MONTES, F., OTT, T., FIRKINS, J., ROTZ, A., DELL, C., ADESOGAN, A., YANG, W., TRICARICO, J., KEBREAB, E., WAGHORN, G., DIJKSTRA, J.; OOSTING, S. **Mitigation of**

greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO₂ emissions. Edited by Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson and Harinder P.S. Makkar. FAO Animal Production and Health Paper No. 177. FAO, Rome, Italy, 2013.

IPCC. **Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers.** Geneva, Suíça, 2007.

KEMP, D. The greenhouse effect and global warming: a Canadian perspective. *Geograph*, v. 76, n. 2, p. 121-130, 1991.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P.C.F.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, n. 1, p. 4-8, 2014.

MARTINS, R. M.; PINHO, S. Z. ESTUDO DO CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR ATRAVÉS DA META-ANÁLISE. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, p. 83 – 94, 2002.

MCKIBBIN, W.J. AND P.J. WILCOXEN, 'The Role of Economics in Climate Change Policy', **Journal of Economic Perspectives**, v. 16, n. 2, p. 107-129, 2002.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil (1970-2019).** 2020. Disponível em: < [OLIVEIRA, T. R. A.; PANTOJA, M. J.; BRISOLA, M. V. PLANO ABC: Contribuições Teóricas Para O Novo Paradigma Da Agropecuária E Uma Proposta De Avaliação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.9, n.3, p. 719-740, jul./set. 2016.](https://www.oc.eco.br/emissoes-brasil-sobem-10-no-1o-ano-de-bolsonaro/#:~:text=%C3%9Altimas%20not%C3%ADcias&text=As%20emiss%C3%B5es%20brasileiras%20de%20gases,do%20governo%20de%20Jair%20Bolsonaro.&text=No%20ano%20passado%2C%20o%20pa%C3%ADs,1%2C98%20bilh%C3%A3o%20em%202018.> https://www.oc.eco.br/emissoes-brasil-sobem-10-no-1o-ano-de-bolsonaro/#:~:text=%C3%9Altimas%20not%C3%ADcias&text=As%20emiss%C3%B5es%20brasileiras%20de%20gases,do%20governo%20de%20Jair%20Bolsonaro.&text=No%20ano%20passado%2C%20o%20pa%C3%ADs,1%2C98%20bilh%C3%A3o%20em%202018.>. Acesso em: 25 de mar de 2021.</p>
</div>
<div data-bbox=)

RAMANATHAN, V.; FENG, Y. Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 1, p. 37-50, 2009.

RAY, D.K.; MUELLER, N.D.; WEST, P.C.; FOLEY, J.A. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, 2013.

RODRIGUES, L. M.; TEODORO, A. G.; SANTOS, A. J. M.; BACHES, C.; ROCHA, J. H. T.; GIONGO, P. R.; DOS SANTOS, Y. L. A. Integration crop-

livestock-forestry: Interaction between components and system sustainability, **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 263, p. 448-455, 2019.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **RESR**, Piracicaba, v. 56, n. 02, p. 195-212, 2018.

SCHIMIDT, K. M.; OCKRNFELS, A. Focusing climate negotiations on a uniform common commitment can promote cooperation. **PNAS**, v. 118, n. 11, P. 1-6, 2021.

SOARES, M. B.; FREDDI, O. S.; MATOS, E. S.; TAVANTI, R. F. R.; WRUCK, F. J.; DE LIMA, J.; FRANCHINI, J. C. Integrated production systems: An alternative to soil chemical quality restoration in the Cerrado-Amazon ecotone. **Catena**, v. eps, 2019.

STIEVEN, A.C.; OLIVEIRA, D.A.; SANTOS, J.O.; WRUCK, F.J.; CAMPOS, D.T.A. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. **Agrária**, v. 9, n. 1, p. 53-58, 2014.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BELFORT, B.B. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **PNAS**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **The Paris Agreement. Technical Report United Nations Framework Convention on Climate Change**. 2015.

USEPA — United States Environmental Protection Agency (2014) **Climate change indicators: global greenhouse gas emissions**. 2014. Disponível: <<https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-global-greenhouse-gasemissions>>. Acesso 1 Abr. 2021.

WU, W.; YU, Q.; YOU, L.; CHEN, K.; TANG, H.; LIU, J. Lacunas de intensidade de cultivo global: Aumento da produção de alimentos sem expansão de áreas de cultivo. **Land Use Policy**, v. 76, p. 515-525, 2018.

ZAGO, L. M. S.; RAMALHO, W. P.; CARAMORI, S. Does Crop-Livestock-Forest Systems Contribute to Soil Quality in Brazilian Savannas?. **Floresta Ambiente**, Seropédica, v. 26 n. 3, p. 2-10, 2019.

ZEVENHOVEN, R.; BEYERNE, A. **Global warming: A result of greenhouse gas emissions or of heat-up of the surroundings by power plants?**. 2009. In: 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2009; Foz du Iguacu, Parana; Brazil; 30 August 2009 through 3 September 2009.

3 COMO OS DIFERENTES USOS DO LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO DA REGIÃO AMAZÔNICA AFETAM A DINÂMICA DA EMISSÃO DE CO₂?

RESUMO

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) a interferência humana no clima global é irrefutável. Com isso, torna-se necessário controlar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a fim de manter o aumento da temperatura em 1,5 °C até o fim do século. Dentre os gases responsáveis por tais feitos se destaca o dióxido de carbono (CO₂), ligado diretamente a queima de combustíveis fósseis e respiração microbiana do solo. Visando minimizar o impacto no clima, o Brasil tem incentivado formas de produção de alimentos mais sustentáveis, como os sistemas integrados de produção. Estes sistemas são considerados ferramentas estratégicas de mitigação, principalmente por serem capazes de estocar CO₂ atmosférico como carbono orgânico (CO) no solo. Portanto, objetivou-se neste trabalho avaliar a variabilidade temporal da emissão de CO₂ e suas relações com os atributos do solo sob diferentes usos na Amazônia. O experimento foi composto por 4 tratamentos caracterizados pelos diferentes usos do solo (Pastagem degradada - PD, Pastagem Reformada - PR, Floresta Nativa - FN e Integração Pecuária-floresta - PF), constituído por 25 repetições para cada tratamento. Foram avaliadas a emissão de CO₂ do solo (FCO₂), temperatura (Ts) e umidade do solo (Us) durante 114 dias. Ao final desse período foram realizadas coletas de solo de 0 a 0,20 m de profundidade, a fim de determinação dos atributos químicos, físicos e biológicos. Os resultados demonstram correlação positiva de FCO₂ entre Ts para todos os tratamentos e negativa entre CO para FN, PR e PF. A FN apresentou valores médios de FCO₂ de 3,83, PD 4,44, PR 3,88, PF 3,14 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Estes valores demonstram que PD e PF apresentaram os maiores e menores FCO₂, respectivamente. Portanto, foi possível concluir que a variabilidade temporal do FCO₂ foi influenciada pelos diferentes usos do solo amazônico, destacando o PF como sistema de baixa emissão de CO₂.

Palavras-chave: Estoque de Carbono, Gases de Efeito Estufa, Pastagem degradada, Pecuária-floresta, Respiração do solo.

HOW DO THE DIFFERENT USES OF THE DYSTROPHIC RED YELLOW LATOSOL IN THE AMAZON REGION AFFECT THE DYNAMICS OF CO₂ EMISSIONS?

ABSTRACT

According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) human interference in the global climate is irrefutable. Thus, it becomes necessary to control greenhouse gas (GHG) emissions in order to keep the temperature increase at 1.5 °C until the end of the century. Among the gases responsible for such feats, carbon dioxide (CO₂) stands out, mainly linked directly to the burning of fossil fuels and microbiological respiration of the soil. Among the gases responsible for such effects, carbon dioxide stands out, mainly linked directly to the burning of fossil fuels and microbiological respiration of the soil. Seeking to minimize the impact on the climate, Brazil has been encouraging more sustainable food production, such as integrated production systems. These systems are considered strategic mitigation tools, mainly because they are able to store atmospheric CO₂ as organic carbon (CO) in the soil. Therefore, the objective of this work was to evaluate the temporal variability of CO₂ emission and its relationship with soil attributes under different uses in the Amazon. The experiment consisted of 4 treatments characterized by different land uses (Degraded Pasture - DP, Reformed Pasture - RP, Native Forest - NF, and Livestock-Forest Integration - LF), consisting of 25 replicates for each treatment. Soil CO₂ emission (FCO₂), temperature (Ts) and soil moisture (Us) were evaluated for 114 days. At the end of this period, soil samples were collected from 0 to 0.20 m deep, in order to determine chemical, physical and biological attributes. The results demonstrate a positive correlation of FCO₂ between Ts for all treatments and a negative correlation between CO for NF, RP and LF. NF presented mean values of FCO₂ of 3.83, SD 4.44, PR 3.88, and LF 3.14 (μmol m⁻² s⁻¹). These values demonstrate that DP and LF had the highest and lowest FCO₂, respectively. Therefore, it was possible to conclude that the temporal variability of the FCO₂ was influenced by the different uses of the Amazonian soil, highlighting the LF as a low CO₂ emission system.

Keywords: Carbon Stock, Greenhouse Gases, Degraded pasture, Livestock-forest, Soil respiration.

3.1 INTRODUÇÃO

No ranking mundial, o Brasil tem uma posição de destaque em relação as emissões históricas de gases de efeito estufa (CO_2 , N_2O e CH_4), destacando-se em quarto lugar entre os maiores emissores (CARBONBRIEF, 2021). Este resultado está diretamente relacionado ao aumento de desmatamento e queimadas, que vem se agravando devido a expansão das atividades agropecuárias, especialmente na Amazônia brasileira (IPCC, 2014; BRITO, 2018).

Outro fator de destaque para as emissões trata-se das grandes dimensões territoriais ocupadas por pastagens no Brasil e sua baixa produtividade animal e vegetal. Segundo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG, 167.7 milhões de hectares estão ocupados com pastagens, sendo que, 77.1 % (118.9 milhões/ha) apresentam algum grau intermediário ou severo de degradação (LAPIG, 2021).

As pastagens degradadas podem apresentar menores emissões de gases de efeito estufa (GEE) a curto prazo quando comparados com pastagens bem manejadas e sistemas integrados como lavoura-pecuária-floresta (FIGUEIREDO et al. 2016). Entretanto, os prejuízos das pastagens degradadas são maiores, principalmente por apresentarem apenas potencial de emissão e baixa capacidade de fixação de carbono no solo (FIGUEIREDO et al. 2016).

Buscando compensar emissões e melhorar as condições dos pastos no Brasil, foi implantado o Plano ABC+, com compromissos ambiciosos de redução das emissões. Para tornar possível estas metas, foi proposto sistemas alternativos de produção, mantendo o estímulo à adoção e manutenção de sistemas agropecuários conservacionistas e sustentáveis de produção como o plantio direto, sistemas de integração, fixação biológica de nitrogênio, plantio de florestas e tratamento de dejetos de animais, além de, estimular pesquisas, fortalecer capacitação e assistência técnica visando o controle das emissões de GEE (BRASIL, 2021).

Por isso, tem-se observado a entrada de sistemas integrados de produção no Brasil e na Amazônia. Segundo Lopes et al. (2020), esse aumento em solos brasileiros nos últimos anos, atingiram patamares significativos de 11,5 milhões de hectares cobertos por algum tipo de integração. Esses

sistemas integrados são classificados como integração lavoura-pecuária-floresta - CLFIS, pecuária-floresta – iLF, lavoura-pecuária - iCL e cultivo-floresta - iCF (GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015). Estes sistemas se destacam por contribuírem para a melhoria na produção, bem-estar animal, e principalmente, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas e preservação de áreas florestais (FIGUEIREDO et al., 2016; COSTA et al., 2018; DE SOUZA et al., 2020).

Em razão disso, o conhecimento sobre a dinâmica de emissão de CO₂ em sistemas integrados de produção é relevante, possibilitando a busca por sistemas resilientes, capazes de contribuir para a redução das emissões de GEE. Isso por que, estudos já sinalizam sobre a influência de atributos químicos (LAL, 2009; MOITINHO et al., 2021), físicos (CHEN et al., 2011; PANOSSO et al., 2011; SANTOS et al., 2019) e biológicos (LUO et al., 2020) do solo na variação de emissões.

A hipótese do trabalho, é que sistemas integrados de produção pecuária tendem a apresentar menores emissões de CO₂ (FCO₂) em linha de comparação com pastagem degradada. Portanto, o entendimento da variabilidade das emissões de CO₂ na Amazônia, usando como bases de comparações entre florestas nativas, pastagens degradadas, pastagens reformadas e sistemas integrados, passam a ser alternativas para a busca de sistemas agrícolas mais sustentáveis que mitigam os efeitos das emissões.

Diante disso, objetivou-se neste trabalho avaliar a variabilidade temporal da emissão de CO₂ e suas relações com os atributos do solo sob diferentes usos na Amazônia.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi desenvolvido no município de Paranaíta (FIGURA 14), localizado no norte de Mato Grosso às margens da rodovia MT 206. Sua posição georreferenciada está sob as coordenadas 9° 43' 45" de latitude Sul e 56° 24' 20" de longitude Oeste, com 250 metros acima do nível do mar. A região apresenta médias de temperatura próximas de 26,5 °C e umidade

relativa do ar com médias de 70%. Seu clima foi caracterizado como estações chuvosas bem definidas, com precipitação intensa no verão e seca no inverno, média anual de 2300 mm, se enquadrando segundo Köppen em tropical de monções (Am). O solo das áreas experimentais foi classificado até o 3º Nível Categórico do SiBCS como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (SANTOS et al., 2018) característico da região, com relevo caracterizado como moderadamente plano e ondulado.

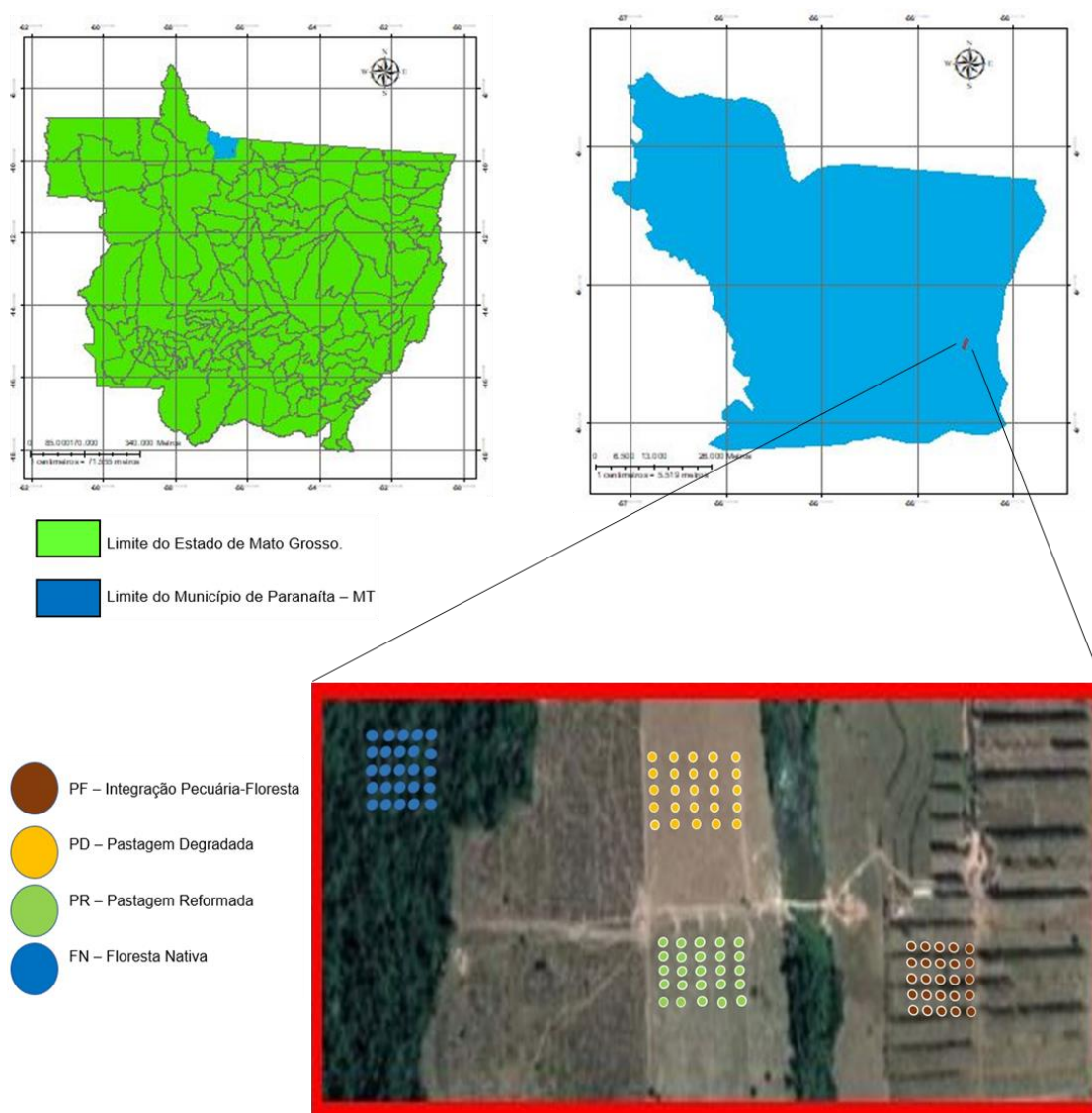


Figura 14 - Áreas experimentais e diferentes usos do solo no município de Paranaíta - MT.

As áreas experimentais foram escolhidas por estarem na região amazônica e apresentar diferentes tipologias de uso do solo (FIGURA 15). As

áreas apresentavam importantes características de mudanças de manejos e apresentarem proximidades umas das outras (2 km), em virtude disso, nos possibilitou uma minimização dos efeitos das variações climáticas.

Até o início da década de 1990 as áreas experimentais apresentavam-se cobertas por intensa vegetação nativa, porém no ano de 1992 houve o desflorestamento dos locais para transição para sistema de pastagens. Após o ano de 2011, as áreas foram convertidas para diferentes usos, os quais no ano de 2018 esses diferentes usos constituíram-se dos tratamentos da pesquisa. Como observado na Figura 3, os tratamentos utilizados na pesquisa foram: pastagem degradado (PD) a 10 anos sem reformar, pastagem reformada e manejada a 2 anos com semeadura da forrageira *Panicum maximum* cv. Mombaça (PR); integração pecuária-floresta (PF) composto por linhas intercaladas de eucalipto (*Eucalyptus sp.*) e mogno africano (*Khaya ivorensis*) em espaçamento de 5 m por planta e 15 m por linha e floresta nativa (FN), usada como linha de base para as análises, pois apresentava as condições iniciais antes das mudanças no uso da terra.

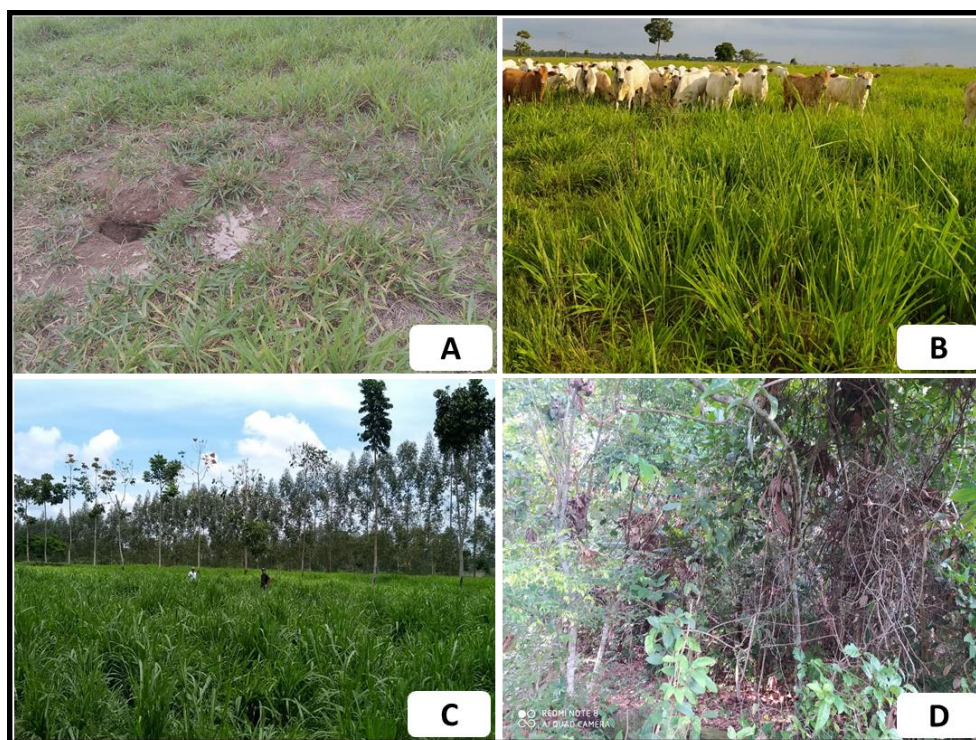


Figura 15 – Usos do solo. A) PD – Pastagem degradada, B) PR – Pastagem reformada, C) PF – Silvipastoril e D) FN – Floresta nativa, Paranaíta - MT.

3.2.2 Delimitação do experimento

A área experimental com os diferentes usos do solo (PD, PR, PF e FN) foi selecionada a partir de uma análise na propriedade, onde optou-se por áreas dispostas distantes das bordaduras e estradas, a fim de controlar interferência externa nos dados da pesquisa.

Em cada área foram medidos 20 x 20 metros (m) totalizando 400 metros quadrados (m²), sendo delimitado em cada uma das áreas 25 pontos de coleta, espaçados de maneira equidistante em 5 x 5 m

3.2.3 Avaliação da emissão de CO₂ (FCO₂), temperatura (Ts) e umidade do solo (Us)

As avaliações tiveram início no dia 14 de dezembro de 2018 e foram concluídas no dia 06 de abril de 2019, sendo monitorados a emissão de CO₂ (FCO₂), temperatura (Ts) e umidade do solo (Us).

As avaliações da FCO₂ do solo foram conduzidas nos períodos da manhã, sendo registradas através do sistema portátil LI-COR (LI-8100) Nebraska EUA. Esse sistema consiste em uma câmara fechada, acoplada sobre os colares anteriormente inseridos no solo, nos pontos de avaliação. Este aparelho monitora as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara, por meio de espectroscopia de absorção óptica na região espectral do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer).

As avaliações da Ts foram realizadas na camada de 0,0 - 0,15 m de profundidade, a partir de um termômetro portátil. A Us foi medida pelo método direto de Reichardt (1985), utilizando a estufa de circulação de ar forçado, sendo coletadas amostras de solo indeformadas em todas as avaliações, mensurando a massa úmida do solo para obtenção de um valor conhecido (dentro de uma faixa de 70 a 150g), para posteriormente secas em estufa de circulação de ar forçado a 105 °C por 24 horas, e através da diferença, utilizou-se a seguinte equação para calcular este atributo:

$$Umidade = \frac{M1-M2}{M2} \quad (1)$$

Onde: M1 é o resultado da massa do solo fresco recém coletado do campo; M2 é a massa do solo após 24 horas em estufa a 105 °C.

3.2.4 Amostragem e análises físicas, químicas e biológicas do solo

Após avaliações de FCO₂, Ts e Us foram realizadas as amostragens de solo, com coletas de amostras deformadas e indeformadas de cada ponto na camada de 0,0 - 0,20 m de profundidade. As amostras foram levadas ao Laboratório de Análise de solos e Análises Foliares (UNEMAT/Alta Floresta), colocadas para secarem ao ar, homogeneizadas e passadas em peneira de malha 2 mm (SILVA et al., 2009) para posterior emprego das análises.

3.2.5 Análises químicas do solo

Atributos como o potencial hidrogênio iônico (pH) do solo foi determinado em H₂O utilizando peagâmetro de bancada. A acidez potencial (H+Al) foram extraídos com acetato de Ca e determinados por titulometria e a textura do solo determinada pelo método do densímetro (Bouyoucos) (EMBRAPA, 1997). Posteriormente foram determinados os atributos como capacidade de troca catiônica potencial (CTC), carbono orgânico do solo (COS) e estoque de carbono do solo (EstC).

Para a determinação de variáveis como o COS, foi empregada a metodologia de combustão úmida, via colorimétrica (SILVA, 2009). Já para o EstC (Mg ha⁻¹) o mesmo foi avaliado e utilizado um fator de correção para corrigir a variação das áreas, sendo calculada pela multiplicação do COS pela densidade do solo *Ds* (g cm⁻³) e pela espessura da camada de solo equivalente (cm), através da equação 2:

$$EstC (Mg kg) = \frac{(CO.Ds.(\frac{D_{ref}}{Ds}.E))}{10} \quad (2)$$

Onde:

EstC = Estoque de carbono (Mg ha⁻¹)

CO = Carbono Orgânico na profundidade (g kg⁻¹);

Ds = Densidade do solo na profundidade;

Dref = Densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência;

E = Espessura da camada amostrada.

E por fim empregou-se também, o fracionamento químico da matéria orgânica do solo, com o intuito de qualificar quimicamente teores de compostos complexos como ácido húmico (Acid. H), ácido fúlvico (Acid F) e humina (EMBRAPA, 2017).

3.2.6 Análises físicas do solo

Visando a obtenção da caracterização dos atributos físicos do solo como a macroporosidade (MacroP), microporosidade (MicroP), porosidade total (PorosidadT), densidade do solo (Ds) e granulométrico (Areia, Silte e Argila), utilizou-se a coleta de amostras indeformadas com auxílio de um amostrador adaptado a anéis de 0,05m de diâmetro interno e 0,05 m de altura (EMBRAPA, 2011). Em todos as 25 repetições dos tratamentos foram determinadas as frações físicas do solo (0,0 - 0,20 m) para avaliar a variabilidade dos tratamentos.

Para a determinação da MacroP, MicroP e PorosidadT, empregou-se a metodologia da mesa de tensão. Sendo determinado também a densidade do solo (EMBRAPA, 2011)

3.2.7 Análises biológicas do solo

Para a caracterização microbiológica do solo, empregou-se as coletas de aproximadamente 300 gramas de solo com auxílio de um trado na camada de 0,0 - 0,20 m para cada ponto amostral. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas refrigerada com gelo seco até o transporte para o Laboratório de Solos e Análise Foliar da UNEMAT e realização das análises. Foram feitos pré-acondicionamento das amostras e passando por peneira com malha de 2 mm antes da caracterização (SILVA; AZEVEDO; DE-POLI, 2007). Após isso, foi feita a determinação da respiração basal do solo (RBS) e do carbono da biomassa microbiana (BMS) do solo.

3.2.8 Forma de análise dos resultados

3.2.8.1 Variação Temporal e Estatística Descritiva dos Tratamentos

Após a obtenção dos dados, os mesmos foram tabulados e analisados, avaliou-se as medidas repetidas no tempo de variáveis como FCO₂, Ts e Us. Foram feitas análises de regressão linear a partir das médias dos tratamentos em cada dia de avaliação para se determinar o grau de relacionamento entre as variáveis analisadas. Todos os procedimentos realizados foram conduzidos no ambiente R (R CORE TEAM, 2020).

Para melhor caracterizar os dados, foram desenvolvidas também análises descritivas dos resultados, utilizando valores de média, erro padrão e coeficiente de variação de cada uma das áreas estudadas.

3.2.8.2 Análise de Correlação Linear de Pearson

Atributos como COS, Ds, H+Al, Areia, Silte, Argila, EstC, MacroP, MicroP, PorosT, pH, CTC, Acid F, Acid H, humina, RBS, BMS, Ts e Us de cada área foram estudadas a relação linear entre os atributos por meio da aplicação da correlação linear de Pearson com a variável principal emissão de CO₂ (FCO₂). Os atributos como Ts, Us e FCO₂ foram obtidos através da média dos valores dos dias de avaliação para cada uma das 25 repetições em cada um dos tratamentos.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Variabilidade Temporal da Emissão de CO₂ (FCO₂), Temperatura (Ts) e Umidade do solo (Us)

Para variabilidade temporal da emissão de CO₂, Ts e Us, foi observado que durante os 112 dias de avaliação, independente dos tratamentos, houve variações em todos os atributos estudados em função dos dias de avaliação (FIGURA 16 - A, B e C).

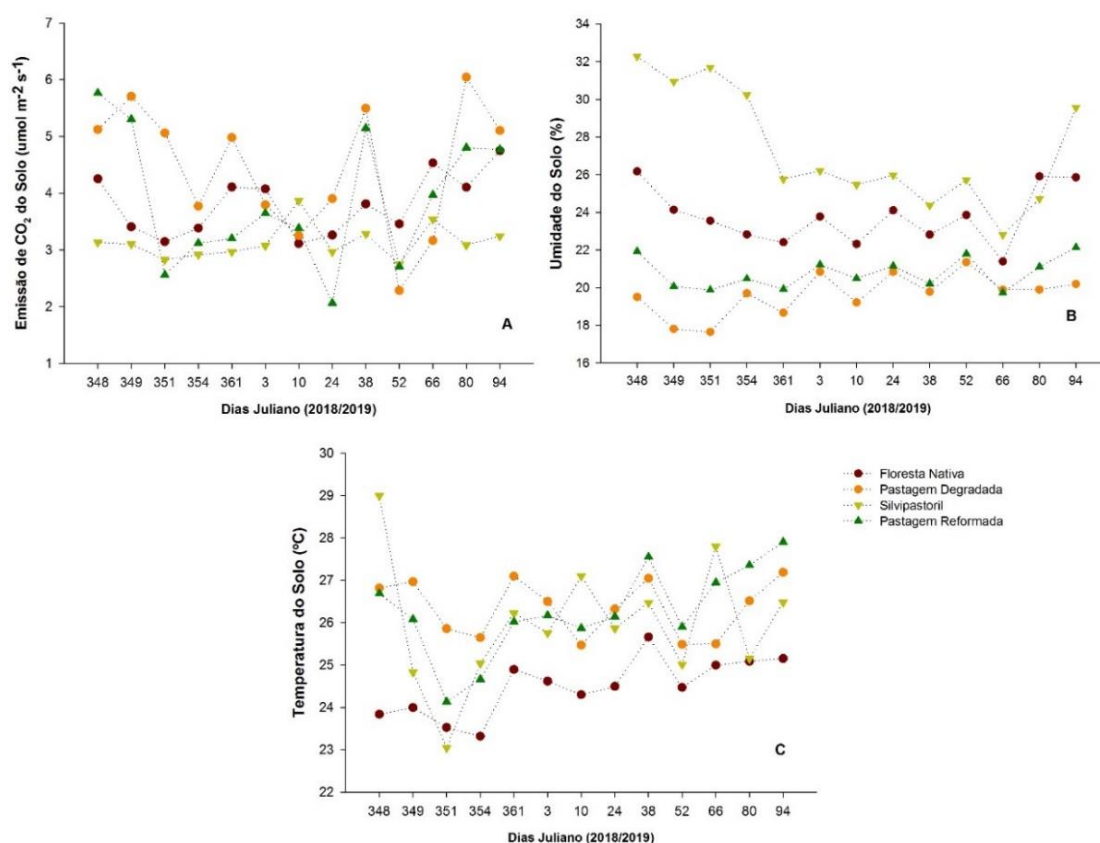


Figura 16 - Variabilidade temporal da emissão de CO₂ do solo (A), umidade do solo (B) e temperatura do solo (C) em diferentes usos do solo, Paranaíta – MT, 2018/2019.

Os tratamentos FN e PF apresentaram as menores médias de emissão de CO₂ (FCO₂) 3,80 μmol m⁻² s⁻¹ e 3,14 μmol m⁻² s⁻¹, respectivamente, além de apresentarem as menores amplitudes de emissão em todo o experimento, com variações de 1,63 μmol m⁻² s⁻¹ para FN e 1,11 μmol m⁻² s⁻¹ de CO₂ para PF.

Em contrapartida, os maiores valores médios de emissão foram observados na PR e, principalmente na PD, onde apresentaram 3,88 μmol m⁻² s⁻¹ e 4,44 μmol m⁻² s⁻¹, respectivamente, com as maiores amplitudes de

emissão, apresentando $3,70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de variação para PR, e $3,76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de FCO_2 para PD.

Os menores valores de emissões diárias ocorreram nos dias julianos 10 para FN ($3,11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 52 para PD ($2,28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e PF ($2,75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), além do dia 24 para PR ($2,06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Já os maiores valores de emissão de CO_2 deram-se nas avaliações do dia 94 para FN ($4,74 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 80 para PD ($6,04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 10 para PF ($3,86 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e 348 para PR ($5,76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Para a T_s as menores médias deste atributo ocorreram nos dias julianos 354 para FN ($23,32^\circ\text{C}$), 10 para PD ($25,47^\circ\text{C}$), 351 para PF ($23,05^\circ\text{C}$) e PR ($24,13^\circ\text{C}$), enquanto os maiores valores de T_s foram observados nos dias 90 para FN ($25,15^\circ\text{C}$), PD ($27,18^\circ\text{C}$) e PR ($27,90^\circ\text{C}$), além de no dia 348 para PF ($28,99^\circ\text{C}$). Dessa maneira, é observado a influência da T_s em escala temporal influenciando a maior emissão nos diferentes usos do solo, pois as maiores emissões da FN ocorreram na avaliação do dia juliano 90 que apresentava o pico de máxima temperatura. PD, PF e PR, mesmo não sendo observado as maiores emissões nesses usos especificamente no dia de maior T_s em todo experimento, as maiores emissões nessas áreas foram nos dias com temperaturas próximas as máximas observadas, sendo 80 para PD, 10 para PF e 348 para PR. Já as menores emissões ocorreram em dias cujo a T_s estava mais próxima das mínimas observadas em todo experimento, sendo FN (10), PD e PF (52) e PR (24).

A U_s apresentou menor influência nas emissões de CO_2 quando comparado com a T_s . FN e PF foram as áreas cuja umidade apresentavam-se em níveis mais elevados, por isso as variações de U_s no sistema, fizeram que em ambas as áreas, quando ocorria a redução dos valores de U_s , era sinalizado aumento da emissão de CO_2 . Todavia, para essas áreas, pouco foi explicado a variação nos aspectos que envolvem a emissão.

Os dias que apresentaram os menores valores de U_s foram nos dias julianos 66 para FN (21,39%), PF (22,81%) e PR (19,74%), e no dia 351 para PD (17,65%). As maiores U_s foram observadas nos dias 348 para FN (26,17%) e PF (32,28%), além do dia 3 para PD (20,84%) e 90 para PR (22,14%).

Sendo assim, as emissões na FN e PR não apresentaram relação direta com a Us, pois onde houve a maior e menor Us, apresentaram emissões próximas para ambas as áreas (4,25 e 4,53 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 4,77 e 3,97 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente). Em adição, as menores emissões na FN foram observadas no dia de maior Us e na PR no dia de menor Us.

Para a PD, foi notório que a menor Us apresentou o maior valor de FCO_2 (5,06 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e onde ocorreu os maiores valores de Us, apresentou valores de emissão baixos (3,79 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), próximo aos valores de mínimo. O mesmo foi observado para PF, que apresentou nas maiores Us valores menores de emissão (3,13 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e, quando observado os dias de menor Us apresentou valores superiores de emissão de (3,54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Para tanto, nas áreas PR e PD observamos que como os valores de Us eram baixos, houveram maiores picos de emissão de CO_2 em ambas as áreas, principalmente na PD conforme o solo apresentava redução da Us, apresentando relação inversa da Us com a emissão de CO_2 .

Como observado, a Us foi o atributo que melhor explicou a variação na emissão de CO_2 . Por isso, na Figura 17, a variável Ts que foi a que mais explicou a variação na emissão nas diferentes áreas de estudo.

Por isso, para a FN, PD, PF e PR foram plotadas regressões lineares para todos os tratamentos, a fim de avaliar a distribuição de $\text{FCO}_2 \times \text{Ts}$. Os resultados demonstram que a Ts foi capaz de explicar aproximadamente 31,5%, 60,3%, 46,7,3% e 39,9% da variabilidade dos dados de emissão, respectivamente. Demonstrando assim, ser uma importante variável para a regulação das emissões de CO_2 em escala temporal.

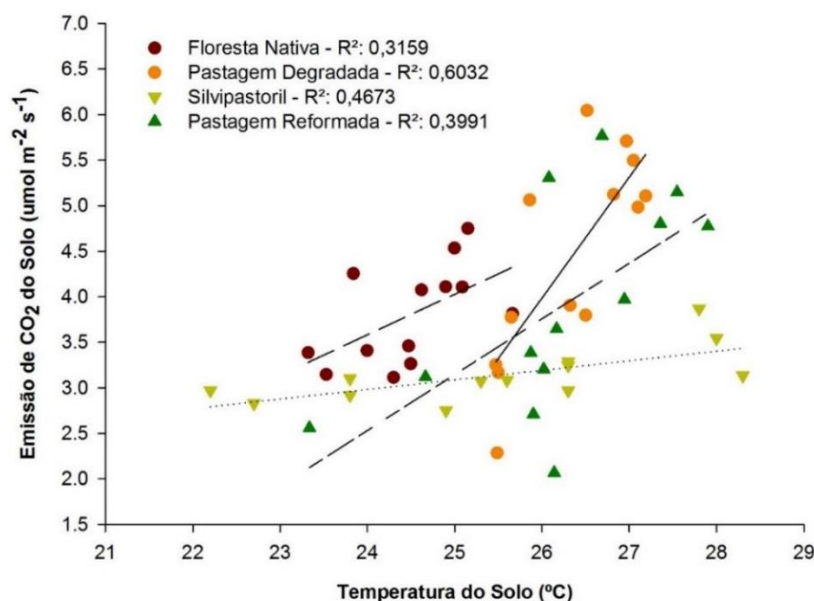


Figura 17 - Regressão linear entre emissão de CO₂ e a temperatura do solo nos diferentes usos do solo. Floresta Nativa, Pastagem degradada, Silvipastoril e Pastagem reformada.

Observa-se, portanto, que T_s atua diretamente na regulação da dinâmica de CO₂ nas diferentes áreas estudadas na Amazônia. Além disso, é notório que dentro da dispersão dos dados, diante da influência da T_s nas emissões, as áreas de FN e PF foram as áreas que demonstraram ser as menores fontes de emissões. Este aspecto se destaca principalmente quando comparada com a PD, que demonstrou ser uma significativa fonte de CO₂, sendo elas as potenciais áreas que podem contribuir para programas de mitigação da emissão de GEE.

3.3.2 Estatística descritiva da Emissão de CO₂ associado aos atributos do solo

As menores médias de emissão de CO₂ foram observados nas áreas que apresentaram as menores médias de U_s e maiores T_s , demonstrando um gradiente de maior para a menor emissão na PD ($FCO_2 = 4,44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $T_s = 26,48^\circ\text{C}$; $U_s = 19,57\%$) > PR ($FCO_2 = 3,88 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $T_s = 26,26^\circ\text{C}$; $U_s = 21,03\%$) > FN ($FCO_2 = 3,80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $T_s = 24,41^\circ\text{C}$; $U_s = 22,96\%$) > PF ($FCO_2 = 3,14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $T_s = 26,05^\circ\text{C}$; $U_s = 27,37\%$).

As menores amplitudes dos valores médios de FCO_2 e U_s ocorreram no sistema PF (0,97; 1,09), PR (2,8; 0,86) e PD (2,41; 1,35), isso refletiu nos menores valores de coeficiente de variação, correspondendo para FCO_2 em

valores de 8,92; 16,42 e 14,16%, e para Us em 4,74; 6,24 e 4,26%, respectivamente. Já a variação de Ts, as menores amplitudes foram a do sistema PF (1,09) e PR (0,89), que apresentou a maior estabilidade na Ts em todo período experimental (Tabela 1).

Entre os atributos químicos, o pH e H+Al na PF e FN foram os atributos mais estáveis com menores valores de amplitude, que acompanharam as menores emissões de CO₂ nas duas áreas estudadas. Além disso, para os atributos microbiológicos, as áreas que apresentaram maiores valores de biomassa microbiana do solo (BMS) e menores valores de respiração basal do solo (RBS) também foram as áreas de FN e PF, que conseqüentemente, apresentaram os menores valores de emissão de CO₂ no experimento.

Quando avaliados os atributos físicos das áreas em estudo, podemos observar que a MacroP, MicroP, PorosidT e Densid, apresentaram valores médios próximo entre os tratamentos. Entretanto, as áreas FN e PF foram as que apresentaram as menores amplitude de variação dos tratamentos estudados, novamente confirmando que quanto menor a amplitude maior será a homogeneidade dos atributos físicos dos tratamentos em todo o período estudado, por consequência a isso, menores foram as emissões de CO₂ nessas áreas.

As menores emissões da FN em comparação com a PR e, principalmente a PD, deve-se a textura mais arenosa da área, pois observando as outras áreas como a PF, foi observado o caráter mais argiloso do solo, que pode ter contribuído com a menor emissão comparada com todos os demais tratamentos.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo, juntamente com os atributos químicos, físicos e biológicos do solo nos diferentes usos do solo na Amazônia.

Atributos	Floresta Nativa			Pastagem Degradada			Pastagem Reformada			Integração Pecuária-Floresta		
	$\bar{x}$	erro	cv	$\bar{x}$	erro	cv	$\bar{x}$	erro	cv	$\bar{x}$	erro	cv
FCO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	3,80	0,22	28,37	4,44	0,13	14,16	3,88	0,13	16,42	3,14	0,06	8,92
Us (%)	22,96	0,44	9,65	19,57	0,17	4,26	21,03	0,26	6,24	27,37	0,26	4,74
Ts (°C)	24,41	0,05	0,92	26,48	0,06	1,20	26,26	0,05	0,89	26,05	0,05	0,90
pH (H ₂ O)	4,42	0,05	5,24	4,46	0,05	6,05	5,33	0,07	6,98	4,86	0,03	3,50
H+Al (g kg ⁻¹)	2,03	0,11	28,03	3,04	0,19	31,26	2,84	0,14	24,69	3,12	0,08	12,71
Areia (g kg ⁻¹)	701,8	10,9	7,80	508,6	8,75	8,60	526,8	12,14	11,52	561,80	7,21	6,42
Silte (g kg ⁻¹)	48,95	4,29	43,78	43,15	4,19	48,56	51,55	6,87	66,67	44,95	5,03	55,97
Argila (g kg ⁻¹)	249,25	10,7	21,46	448,25	6,51	7,26	421,65	9,55	11,25	393,25	5,50	6,99
CO (g kg ⁻¹)	4,93	0,33	19,37	7,31	0,28	15,72	8,20	0,57	20,7	6,01	0,36	12,18
EstC (Mg ha ⁻¹)	12,42	0,83	33,45	18,71	0,72	19,37	21,49	1,49	34,75	16,12	0,97	30,15
CTC (cmolc dm ³)	2,41	0,13	27,30	4,07	0,22	26,91	4,60	0,17	18,63	3,94	0,11	14,33
MacroP (m ³ m ⁻³)	0,10	43 ⁻³	21,96	0,05	24 ⁻³	22,58	0,06	17 ⁻³	14,00	0,06	34 ⁻³	27,63
MicroP (m ³ m ⁻³)	0,29	27 ⁻³	4,65	0,28	69 ⁻³	12,34	0,35	28 ⁻³	4,10	0,31	42 ⁻³	6,87
PorosT (m ³ m ⁻³)	0,39	51 ⁻³	6,49	0,33	73 ⁻³	11,08	0,41	31 ⁻³	3,84	0,36	35 ⁻³	4,77
Densid (g cm ⁻³)	1,27	0,02	6,24	1,32	0,01	5,84	1,30	0,01	4,63	1,35	0,01	3,02
Acid. F (g kg ⁻¹)	1,42	0,06	22,21	1,68	0,07	20,47	1,38	0,09	33,81	1,77	0,07	20,2
Acid. H (g kg ⁻¹)	1,13	0,09	38,69	0,69	0,12	16,42	0,50	0,07	70,42	0,38	0,06	75,05
Humina (g kg ⁻¹)	6,97	0,38	27,32	8,31	0,32	19,00	9,64	0,36	18,73	8,22	0,28	17,17
BMS (μg g ⁻¹)	152,13	8,84	29,05	54,54	3,22	29,53	185,13	6,11	16,44	108,11	3,01	13,92
RBS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo hora ⁻¹)	0,48	0,02	17,69	0,51	0,03	34,15	0,41	0,02	23,58	0,46	0,02	17,55

FCO₂: emissão de CO₂, Ts: temperatura do solo, Us: umidade do solo. pH: potencial hidrogênio iônico, H+Al: acidez potencial, CO: carbono orgânico, EstC: estoque de carbono, CTC: capacidade de troca catiônica, MacroP: macroporosidade, MicroP: microporosidade, PorosT: porosidade total, Densid: densidade do solo, AcidF: ácido fúlvico, AcidH: ácido húmico, BMS: biomassa microbiana do solo, RBS: respiração basal do solo. $\bar{x}$: valores médios dos atributos, **erro**: erro padrão da média, **cv**: coeficiente de variação.

Para o fracionamento químico da MOS foi observado que a PF apresentou os maiores valores de ácido fúlvico ($1,77\text{g kg}^{-1}$) (ÁcidF). Todavia, para ácido húmico (ÁcidH), as maiores quantidades dessa fração da matéria orgânica foram observadas na FN ($1,13\text{g kg}^{-1}$), enquanto PF apresentou os menores valores ($0,38\text{g kg}^{-1}$), próximos a PR ($0,50\text{g kg}^{-1}$) e PD ($0,69\text{g kg}^{-1}$). Para a fração humina (Hm), as áreas manejadas apresentaram os maiores valores, com destaque para a PR ($9,64\text{ g kg}^{-1}$), seguido de PD ($8,31\text{ g kg}^{-1}$); PF ($8,22\text{ g kg}^{-1}$) e FN ($6,97\text{ g kg}^{-1}$).

O maior estoque de carbono (EstC) foi observado na PR ($21,49\text{ Mg ha}^{-1}$), que não foi a área que mais contribuiu com as emissões (FCO_2 : $3,88\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$), dessa forma, as áreas como FN e PF foram as áreas que além de apresentarem as menores emissões (FCO_2 : $3,80$ e $3,14\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$, respectivamente), foram as áreas que apresentaram os menores EstC. Dessa forma, existe uma relação direta entre o EstC com a emissão de CO_2 , isso é confirmado observando a PF e a FN, demonstrando que quanto menor o valor desse atributo, maiores foram as perdas de CO_2 , sendo o inverso observado para PR e PD.

Para as análises microbiológicas, os maiores valores de biomassa microbiana no solo (BMS) foram observados na PR ($185,13\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$) < FN ($185,13\mu\text{g g}^{-1}$) < PF ($108,11\mu\text{g g}^{-1}$), demonstrando que as áreas apresentam capacidade de manutenção da BMS, enquanto os menores valores foram obtidos da PD ($54,54\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$). Uma das causas da PD apresentar os menores valores de BMS está pelo seu estágio de degradação, que pode apresentar problemas como a redução da BMS.

Já para a respiração basal do solo (RBS), os menores valores foram observados nos solos sob FN ($0,48\text{ mg C-CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{ solo hora}^{-1}$) e PF ($0,46\text{ mg C-CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{ solo hora}^{-1}$), possivelmente essa maior quantidade de BMS com menor RBS pode ser um indicativo de menor estresse no sistema, refletindo nas menores emissões de CO_2 , enquanto a área com menor BMS e com os maiores valores de RBS foi a PD ($0,51\text{ mg C-CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{ solo hora}^{-1}$) sendo a que mais contribuiu com as emissões no sistema.

3.3.3 Correlação de Pearson da emissão de CO₂ (FCO₂) com os atributos do solo das diferentes áreas de estudo

O atributo que apresentou correlação com a emissão de CO₂ (FCO₂) em todos os tratamentos estudados (FN, PD, PR e PF) foi a temperatura do solo (Ts). Isso explica a importante influência desse atributo se relacionando na dinâmica da emissão desse importante GEE nos mais diferentes sistemas de produção estudado.

Ao avaliarmos a FCO₂ na FN disposto na Tabela 2, pode-se observar que os atributos que apresentaram correlação significativa além da Ts, foram o carbono orgânico (CO) e densidade do solo (Ds). Para a PD, a correlação encontrada ocorreu para o ácido húmico (ÁcidH). Sendo que, para os demais tratamentos, os atributos que apresentaram correlação significativa foram CO, acidez potencial (H+Al) e biomassa microbiana do solo (BMS) para a pastagem reformada (PR), além de CO e humina (Hm) para PF.

Como podemos observar os resultados da FN. Nota-se que houve correlação negativa entre a Ds (r : -0,407) e CO (-0,403) com FCO₂, isso demonstra que a redução da Ds e o teor de CO, refletiram em aumentos nas emissões, sendo capaz de explicar aproximadamente 40,7% e 40,3% respectivamente.

A PD conforme ocorria o aumento da quantidade de ÁcidH ocorria aumento das emissões CO₂ no campo (r : 0,44). A mesma tendência foi observada na PR com H+Al, onde o aumento do incremento desse atributo demonstrou tendência de aumento das emissões (r : 0,40).

Foram encontradas correlações negativas na PR para CO e BMS, que com a redução dos atributos aumentou o FCO₂ (r : -0,62). Enquanto para PF, foi observado que com a redução da Hm houve uma tendência de aumento das emissões no campo (r : -0,54).

Tabela 2 - Análise de correlação da emissão de CO₂ (FCO₂) e os atributos do solo nos diferentes usos do solo Amazônico (FN: Floresta Nativa, PD: Pastagem Degradada, PR: Pastagem Reformada e PF: Pecuária-Floresta), Paranaíta - MT, 2021.

Área	Variável Principal	Atributos do Solo										
		pH ^(H2O)	H+Al ^(g kg-1)	EstC ^(Mg ha-1)	COS ^(g kg-1)	CTC ^(cmolc dm3)	AcH ^(g kg-1)	AcF ^(g kg-1)	Hm ^(g kg-1)	MacroP ^(%)	MicroP ^(%)	
FN	FCO ₂	r	0,12	0,03	0,02	-0,40	0,03	-0,16	0,22	0,06	0,31	-0,31
PD		r	0,30	0,29	-0,25	-0,36	0,10	0,44	0,14	0,12	0,10	0,11
PR		r	-0,28	0,40	-0,17	-0,62	0,06	-0,26	-0,01	-0,02	-0,02	0,03
PF		r	0,01	-0,29	0,00	-0,79	-0,31	-0,31	-0,26	-0,54	-0,19	-0,21
Área	Variável Principal	PorosT ^(%)	Ds ^(g cm-3)	BMS ^(µg g-1)	RBS ^(mg C-CO2 kg-1 solo hora-1)	Areia ^(g kg⁻¹)	Silte ^(g kg⁻¹)	Argila ^(g kg⁻¹)	Us ^(%)	Ts ^{°C}		
FN	FCO ₂	r	0,06	-0,40	0,16	-0,15	-0,22	0,10	0,18	0,21	0,54	
PD		r	0,13	-0,26	-0,17	0,03	-0,01	0,19	-0,09	-0,29	0,59	
PR		r	0,03	0,07	-0,41	0,15	0,16	0,13	0,11	0,27	0,53	
PF		r	-0,23	-0,22	0,10	0,26	-0,08	-0,01	0,12	-0,28	0,52	

Valores em negrito: correlação significativa pelo teste t de student. Ts, Us e FCO₂ valores médios dos dias de avaliação para cada ponto nos diferentes tratamentos, demais atributos são valores de uma única coleta ao final do experimento.

Para a Ts, a correlação observada foi inversamente proporcional a observada para CO para todas as áreas estudadas, pois a Ts e FCO₂ apresentaram correlação positiva (r: 0,54 - FN; r: 0,59 - PD; 0,53 - PR e 0,52 - PF, com o coeficiente de correlação conseguindo explicar mais de 54%, 59%, 53% e 52% o efeito entre as duas variáveis, respectivamente, isso conforma que o aumento da Ts e redução do CO, refletiram em aumentos das emissões de CO₂ nos sistemas.

3.4 DISCUSSÃO

3.4.1 Variabilidade Temporal da Emissão de CO₂ (FCO₂), Temperatura (Ts) e Umidade do solo (Us)

A emissão de CO₂ é uma atividade regulada pelos microrganismos do solo, sendo potencializada pela decomposição da matéria orgânica e respiração heterotrófica (BOND-LAMBERTY; THOMSON, 2010), por isso, essa atividade microbiana é regulada por importantes atributos, sendo um dos principais a Ts. Dessa forma, entender o resultado de aumentos da temperatura e o reflexo na atividade microbiana e emissão de CO₂ é importante para avaliar a dinâmica de GEE nos sistemas agrícolas (CHEVALLIER et al., 2015). Além disso, Chevallier et al. (2015) apresentam que o aumento da temperatura resulta em aumentos na emissão de CO₂.

Uma das explicações para os valores altos de Ts da PR pode estar relacionado a forrageira cultivada na área, que não apresentava pelas suas características morfológicas, eficiência na cobertura uniforme da área e prevenção do aquecimento do solo, e essa cobertura irregular confirma os efeitos de maior temperatura e maiores perdas de carbono no sistema (THOMAZINI et al., 2015). Pois *Panicum maximum* L. cv. Mombaça, apresentava desenvolvimento em touceira facilitando a entrada da radiação solar no sistema, fazendo com que o solo tivesse um maior aquecimento.

Por isso, Da Silva et al. (2018), trabalhando com diferentes coberturas do solo, sendo filmes plásticos, milho e casas de café, além do tratamento sem cobertura, observou que a Ts mais amena aconteceu dos solos cujos tratamentos apresentava a máxima cobertura no sistema (média com cobertura

24,16 °C / média sem cobertura 26,46 °C), com média 7% inferior a Ts do solo sem cobertura.

Autores como Borges et al. (2015), também apresentaram limitações com pastagens constituída pelo capim Mombaça, onde observaram que esses sistemas de pastagens, pela característica de crescimento da forrageira possibilita a entrada da radiação solar aumentando a Ts podendo aumentar a atividade microbiana e degradação da MOS, assim os autores observaram a alteração na estabilidade de agregados, resultando em menores quantidades de carbono orgânico nesses sistemas de produção.

A importância da variação da Ts e emissão de CO₂ em escala temporal, pode ser observada, pois conforme ocorriam as avaliações, independente de qual área estudada, os valores de aumento da emissão de CO₂ seguiam os aumentos da Ts, por este fato, as áreas que apresentavam as maiores médias de emissão, foram as áreas que apresentaram proximidade nas maiores médias de temperaturas.

A influência da Ts nas emissões é um resultado já encontrado na literatura, autores como Yuste et al. (2007) apresentam que as emissões de CO₂ do solo é influenciado diretamente pela temperatura, umidade e manejo, por isso, já era esperado que a Ts apresentasse influência no aumento das emissões. Na mesma linha, Smith et al. (2018) apresentam que os principais fatores que regem a dinâmica de CO₂ nos solos são os atributos como Ts e Us, sendo importantes atributos para estudos que exploram a dinâmica da emissão de CO₂.

Essa importante relação da Ts do solo, confirma a hipótese estudada por Abdala et al. (2018), onde o resultado da PD apresentar os maiores valores de emissão, dar-se-á pelo fato de apresentar uma menor cobertura basal do solo e uma maior Ts, potencializando atividades biológicas como a mineralização do carbono, por esse motivo os autores apresentam que quanto menor as Ts bruta, menores foram as emissões. Resultados estes, também observados por Figueiredo et al. (2016), pois a correlação encontrada no trabalho demonstrava que os maiores valores de Ts ocorriam na PD.

Dessa forma, áreas degradadas como é o caso da área de estudo, apresentava problemas resultado do superpastejo sem a manutenção da fertilidade do solo, com a forrageira basicamente sem a capacidade de

cobertura eficiente, além da isenção da cobertura florestal, diferente do observado na PF, com isso, induziu a maiores Ts e os problemas na manutenção de níveis baixos FCO₂.

A redução da Us aumentando as emissões apresentaram resultados contrapostos com a literatura, pois se tem relato do efeito direto da Us com a emissão de CO₂ (OLIVEIRA, 2018). Isso por que, o aumento da Us juntamente com a Ts apresenta influência direta na atividade de microrganismos decompositores, aumentando velocidade de decomposição e isso reflete em aumento das emissões de CO₂ (MEIXNER; YANG, 2006).

Ao certo, o aumento da Us seria um fator importante para os aumentos das emissões de CO₂ (PANOSSO et al., 2009; OLIVEIRA, 2018). Todavia, no presente trabalho não foi observado essa real dependência da Us com a emissão no campo. Possivelmente, pelo fato de o experimento ter sido desenvolvido no período chuvoso. Dessa forma, a Us não foi limitante, visto que, mesmo os valores de Us oscilando, os mesmos não apresentaram níveis críticos para interferir negativamente na atividade microbiana do solo.

3.4.2 Estatística descritiva da Emissão de CO₂ associado aos atributos do solo

A PD a que apresentou os maiores valores de FCO₂, confirmando o estudo de Figueiredo et al. (2016b), que observaram que sistemas de PD liberam mais CO₂ do que sistemas bem manejados.

Os maiores valores de FCO₂ observada na PD quando comparado com os demais tratamentos, corroboram e são contrapostos por autores na literatura. Chen et al. (2016) em seu estudo avaliando a emissão de CO₂ em diferentes sistemas de pastagens na região do Tibete, observaram que na PD, os valores de emissões foram superiores em 23,5% o fluxo anual quando comparado com solos que não estavam em estágio de degradação. Li et al. (2015) avaliando pastagens bem manejadas e degradadas em Qinghai-Tibetan na China, observaram que a PD apresentou as maiores médias de emissão de CO₂, apresentando os maiores fluxos de emissão desse importante GEE.

Autores como Rosendo e Rosa (2012) apontam para possíveis explicações para a PD apresentar as maiores médias de emissão de CO₂, pois os mesmos avaliando os estoques de carbono de PR e PD, observaram que

houve uma menor capacidade de sequestro de CO₂ pela pastagem que estava sob estágio de degradação e isso é explicado pela menor capacidade de estoque de carbono neste sistema de manejo.

Ademais, é observada na literatura contraposição nas avaliações do fluxo de CO₂ quando avaliado PD. Abdala et al. (2018) apontam que a pastagens bem manejadas, pastagens moderadamente degradadas e altamente degradadas, os valores brutos de emissão de CO₂ apresentaram os menores valores de emissão nas PD.

No experimento, os valores médios de menor emissão foi observado no PF e os de maior emissão na PD, isso mostra que para a região da Amazônia, possivelmente influenciada pelas condições climáticas, a PF é uma importante estratégia de mitigação da emissão de CO₂.

Os menores valores de Ts, podem ter sido influenciados pelas condições de cobertura, pois no sistema PF, além da forrageiras bem desenvolvidas, havia a presença do componente florestal. Enquanto a FN apresentava todo o componente arbóreo, que também contribuiu com o equilíbrio térmico do ambiente, por isso as menores temperaturas foram observadas nessas duas áreas estudadas.

A Ts é um atributo importante que pode apresentar variabilidade sob diferentes áreas, sendo influenciadas pela cobertura e manejo do solo. Figueiredo et al. (2016a) avaliando sistemas de pasto manejado e degradado, observaram que ao longo do período experimental, que a Ts foi superior no PD. Ordonez et al. (2018) avaliando diferentes tipos de pastagens no sudeste do Chile, observavam que pastagens sem adubação, não manejadas, com características mais próximas a das PD apresentaram maior Ts, isso por que, a baixa quantidade de biomassa na superfície do solo atua diretamente contribuindo para maiores temperaturas nas camadas iniciais.

Outro ponto bastante relevante, é que a relação de Ts com FCO₂ nas áreas, onde a área como a PD o estágio de degradação caracterizado por falhas na disposição espacial da pastagem e o manejo intensivo contribuiu para o maior aquecimento do solo, resultado disso, pode ser explicado pelos maiores valores de FCO₂.

Já os menores valores de Us na PD e PR, seguem basicamente os princípios abordados na avaliação da Ts. As duas áreas que apresentaram os

menores valores de U_s , apresentam como características, principalmente a PD maiores níveis de exposição a ação da temperatura, atuando na redução acentuada desse atributo estudado. Isso possivelmente, é potencializado pela menor cobertura do solo e ausência de componente florestal para a manutenção das boas condições de umidade.

Esses mesmos resultados observados de maior T_s e menor U_s é apontado por Villanueva-lopez et al. (2016), que avaliando sistema de pastagens com *U. brizanta* e sistemas de cultivos com espécies florestais na cobertura do solo, apresentam que as maiores T_s são observados nos sistemas de pastagens. Os mesmos autores completam que, com os menores valores de umidade relativa do ar (UR), pode, possivelmente, induzir menores valores de U_s quando comparado com a cobertura arbórea.

Sendo as áreas PF e FN compostas pelos componentes florestais se destacando com os menores valores de T_s e as maiores U_s quando comparado com os outros sistemas em praticamente todo o experimento.

Dessa forma, a presença do componente florestal do sistema de integração é importante para o balanço de carbono no solo, assim os resultados promissores do sistema de integração silvipastoril são explicados por Figueiredo et al. (2016a), que avaliando diferentes sistemas de produção de carne composto por PD, pastagem manejada, FN e PF, ao final de 10 anos o sistema de integração apresentou os melhores resultados quando comparado aos demais tratamentos, isso por que a FN e o bom desenvolvimento da forrageira contribui com a compensação das emissões no sistema.

Em relação aos aspectos que envolve o pH e $H+Al$ dos tratamentos estudados, podemos observar que, a FN e PD foram os tratamentos que apresentaram os maiores valores de acidez no solo.

A PR foi o tratamento que apresentou os menores valores de acidez e que por consequência foi a área de maior CTC do solo, isso por que, o aumento da faixa de pH do solo atua diretamente na redução da acidez, fazendo com que elementos como Al^{3+} e H^+ que estariam ocupando a CTC do solo sejam liberados e indisponibilizados, atuando no aumento da CTC do solo.

Esse efeito pode ser um indicativo que práticas de reformas são importantes para o sistema, que pelo manejo intensivo, contribui para o efeito

tamponante do pH nos solos, além de apresentar as menores emissões de CO₂ quando comparado com a PD.

Entre os valores dos atributos físicos estudados como MacroP, MicroP, PorosidT e Ds. A PR se destacou sendo o tratamento com a maior MicroP e PorosidT. Enquanto a FN apresentou as maiores MacroP não diferindo da PR e as menores Ds, isso mostra que mesmo pouco acentuado, foi observado pouca homogeneidade entre os tratamentos. Os atributos como porosidade podem contribuir na variação das emissões de CO₂, autores como Mantovanelli et al. (2020) observaram relação positiva da porosidade em diferentes solos com sistemas de manejo similar, sendo assim, solos com maiores porosidade total tendem a ser com possibilidade de maiores emissões.

Essa mesma relação estudada entre os atributos físicos do solo como a variação da porosidade na emissão de CO₂ foi observada por Silva et al. (2016), apresentando que a variação da porosidade do solo pode influenciar no aumento ou redução das emissões.

Os maiores valores de ÁcidH e ÁcidF, na PF e FN, respectivamente, deve-se ao fato, possivelmente de serem sistemas mais dinâmicos e com a presença do componente florestal, contribuindo para as maiores quantidades dessas frações complexas da matéria orgânica pelo incremento da serrapilheira na superfície do solo. Enquanto no sistema de PR, mesmo a humina sendo uma importante fração da MO, sua constituição é mais lignificada, sendo de mais difícil metabolização pela micriobiota, com isso, possivelmente o destaque na quantidade dessa fração na PR deve-se ao fato do aumento na degradação das demais frações ácidas pelos microrganismos (BARROS, 2011), agora passando a se destacar a fração mais complexa da MO.

A presença dessas frações está diretamente relacionada com a presença da CO do solo (XAVIER et al., 2019). Com isso, nos sistemas com as menores Ts como PF e FN foram os menos influenciados pelo aumento expressivo da atividade microbiana, isso por que, a degradação da MO é influenciada por umidade, atividade microbiana do solo, e principalmente, a temperatura (EPRON et al., 2006), fazendo com que potencializando a degradação desse solo, que apresentou as maiores temperaturas, resultando em maior perda de CO₂ e das frações húmicas.

Os maiores valores de EstC, observado nos sistemas antropizados como PD, PR e PF é apresentado por outros trabalhos, como em sistema de plantio direto (TORRES, 2015), agroflorestal (MASCARENHAS et al., 2017; TORRES et al., 2014) e sistema de integração silvipastoril (ROCHA et al., 2017). Podendo atuar diretamente, em aspectos como prevenção das emissões, resultado de um maior sequestro do CO₂ atmosférico.

Esses resultados reforçam que a PF e PR, são potenciais sistemas para uso, visando estratégias eficazes para prevenção das emissões de CO₂ e da qualidade do solo, isso por que, o componente florestal e forrageira possuem potencial de sequestro de carbono (TORRES et al., 2014), pela fixação de CO₂ na biomassa, principalmente das árvores no sistema (TORRALBA et al., 2016).

Os valores de desempenho do incremento da BMS e redução da RBS são importantes relações encontradas na presente pesquisa. Os maiores valores de BMS são dos tratamentos que apresentam os maiores teores de matéria orgânica e por consequência o carbono orgânico (PR<FN<PF<PD).

Os menores valores de BMS na PD é observado por Abdala et al (2018), que avaliando pastagens com diferentes níveis de degradação encontraram em pastagens não degradadas ($3,28 \pm 0,42 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) os valores de BMS apresentam 55 e 81% superior quando comparado com pastagens moderadamente degradada e altamente degradada. Com isso, esse aumento pode contribuir para o maior controle da disponibilização dos nutrientes (SIX et al., 2006) e para o crescimento microbiano, reduzindo a RBS (LAL, 2004).

Dessa forma, vale ressaltar que a BMS é considerada a parte do solo que envolve toda a fração viva ativa dos microrganismos que são agentes transformadores da MO (BARBOSA et al., 2018).

3.4.3 Correlação de Pearson da emissão de CO₂ (FCO₂) e os atributos do solo

As correlações encontradas no trabalho confirmam importantes influências de atributos do solo na dinâmica de FCO₂ em diferentes sistemas de produção agrícola encontrados na literatura. Isso por que, as emissões de CO₂ do solo é resultado de complexa interação dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (LAL, 2009; MOITINHO et al., 2013; IAMAGUTI et al.,

2015), sendo esses também, os principais reguladores da emissão no tempo e no espaço.

A influência da Ts nas emissões é relativa à sua influência na atividade microbiana que já foram observados por outros autores. Diante disso, Graf et al. (2012) avaliando a variabilidade espaço-temporal da respiração heterotrófica do solo, observou que a Ts apresenta importante influência nos processos de respiração, pois valores ideais desse atributo seguidos de aumentos da Ts, pode atuar potencializando aumentos de emissões de CO₂ devido uma maior atividade da microbiota na decomposição da matéria orgânica do solo (MACDONALD et al., 2014).

A maior Ts foi encontrada na PD que proporcionou os maiores valores de FCO₂, confirmando o que Silva et al. (2019) observaram avaliando a emissão de CO₂ em diferentes estações do ano. O período chuvoso apresentou as maiores emissões no sistema de pastagem sempre nas maiores Ts, destacando a influência desse atributo e da estação na dinâmica de emissão.

O fato de a Ts ter apresentado relação com as emissões enquanto a Us não apresentou contrapõe estudos de Meier et al. (2011) avaliando o fluxo de CO₂ e as influências de atributos na floresta amazônica. Os autores afirmam que a Us é o principal atributo controlado das emissões nas florestas, porém na presente pesquisa foram observadas a maior interação da temperatura na alteração do fluxo de CO₂, pois o aumento desse atributo aumentou as emissões (MEIER et al., 2011).

Além disso, Santos et al. (2019) observaram que além da influência direta da Ts e Us nos aumentos de emissão de CO₂ nos sistemas, a adaptação por sistemas mais complexos como a sucessão de culturas no sistema de plantio direto, pode ser uma importante estratégia para aumentos dos teores de CO do solo e redução das emissões.

Além disso, importantes relações nas reduções e aumentos de emissão também foram encontrados com outros atributos estudados, sendo influenciados pela Ds (SAIZ et al., 2006; PANOSSO et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2012), MO (PANOSSO et al., 2011), Us e porosidade (SANTOS et al., 2019), além do estoque de carbono (PANOSSO et al. 2011) que foram alguns

dos atributos que apresentaram importantes relações com FCO_2 no presente estudo.

Os valores de correlação entre Ds x FCO_2 corroboram Panosso et al. (2011) avaliando diferentes sistemas de manejo da cana de açúcar (cana verde e cana queimada), onde os autores observaram que a emissão de CO_2 foi inversamente proporcional a relação da humificação x Ds no sistema de cana queimada, sendo que os aumentos das emissões de CO_2 seguiram a redução da Ds . Em adição, outros trabalhos avaliando diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar também apresentaram os mesmos resultados, Moitinho et al. (2021) avaliando a emissão de CO_2 também em sistemas de cana verde e cana queimada, observaram que a área com menor Ds apresentou os maiores valores de FCO_2 .

Por isso, o solo menos denso da presente pesquisa, consiste em um solo com maior espaço poroso, e com isso, facilita a entrada de O_2 nesses poros o que contribui para que esse gás se ligue ao carbono e seja perdido em forma de CO_2 , sendo potencializado pela difusividade da temperatura pela menor quantidade de matéria orgânica (ZHU et al. 2019).

A redução do atributo CO do solo fez com que as taxas de emissões de CO_2 aumentassem. Possivelmente, este efeito inverso esclarece a importância do CO na manutenção do FCO_2 do solo, para que perdas sejam evitadas. Dessa maneira, os valores mais elevados de emissão pode ser consequência de baixas quantidades, principalmente da MO , que é constituído por aproximadamente 58% de C em sua estrutura (CONCEIÇÃO et al., 1999).

A redução do CO foi, possivelmente, reflexo da perda de CO_2 do sistema, demonstrando a potencial do sistema em ser influenciado por esses atributos. Por isso, o aumento dos teores de CO , podem ser das estratégias para sistemas mais sustentáveis de produção (IPCC, 2020). Esse fato apresenta a busca por estratégias viáveis para manutenção e aumento do CO dos solos, como sistemas de plantio direto (LAL, 2008; MARTINS et al., 2009), sistemas de colheita verde de cana-de-açúcar (LA SCALA et al., 2006; SILVA-OLAYA et al., 2013; MOITINHO et al., 2013; MOITINHO et al., 2018; MOITINHO et al., 2021), além de sistemas de integração de pastagens (FIGUEIREDO et al., 2016b).

Os efeitos diretos da Ts e indiretos do CO nos aspectos relacionados a emissão nos tratamentos, fizeram que os aumentos da temperatura induziram a aumentos na redução do CO do solo o que aumentou as emissões, não só neste como em todos os tratamentos (FN, PD, PR e FN).

No fracionamento químico da MO a relação inversa da Hm com FCO_2 pode ser explicada, pois essa fração apresenta como característica resistência a biodegradação por ser uma fração mais recalcitrante, além de ser uma substância protegida fisicamente por complexos argilo-húmicos (LONGO; ESPINDOLA; RIBEIRO, 2000). Com isso, os microrganismos do solo dão preferências aos elementos menos recalcitrantes como o ácido húmicos e fúlvicos por ser mais facilitada (BORGES et al., 2015).

Dessa forma a redução da Hm pode estar relacionado com um dos maiores valores de BMS encontrada na PF, assim, possivelmente, a quantidade de microrganismos aliado as quantidades das outras frações mais degradáveis não foram suficientes para a BMS decompor, fazendo com que a Hm decrescesse conforme ocorria os aumentos de emissão (BARROS, 2011).

Diante disso, Barros (2011) apresenta as características de proteção físicas dessas frações, principalmente da Hm que é a fração mais resistente. Todavia, na necessidade de dar continuidade a decomposição através da transformação da MO os microrganismos podem utilizar a fração mais resistente como a Hm para os processos.

A redução da BMS tem consequência direta em uma possível redução na atividade dos microorganismos no solo, por isso, autores como Mantovanelli et al. (2020) apontam que o principal motivo dos aumentos das emissões em áreas sob cultivo de cacau, se deu pela atividade dos microrganismos no solo, dessa forma a redução da MO na presente pesquisa era seguida da redução da BMS, assim pela diminuição proporcional ao declínio da MO mantendo a atividade microbiana com capacidades de aumentos de emissões na pastagem reformada. A biomassa microbiana é a fração mais degradável e bioativa da MO do solo (HUNGRIA et al. 2009), dessa forma os valores de decréscimos na biomassa são controversos com Moitinho et al. (2021), que observaram relação da BMS com a emissão de CO_2 , sendo as áreas com os maiores valores desse atributo as que mais emitiram no experimento.

Todavia, a BMS é um atributo que está estreitamente ligado com o carbono do solo, por isso, conforme ocorre o aumento da biomassa, maior era o potencial de transformação da MO no solo em compartimentos mais estáveis, refletindo assim em maior manutenção do C no ambiente. Isso por que, dentre importantes práticas de manutenção do carbono dos solos consiste no incremento de MO no sistema, por isso que conforme ocorre redução da BMS, mais vulnerável e desequilibrado é o sistema, resultando em maiores as emissões de CO₂.

3.5 CONCLUSÕES

O aumento da Ts atuou de maneira direta para o aumento das emissões de CO₂;

A redução do carbono orgânico do solo (CO) resultou em maiores emissões de CO₂ para FN, PR e PF;

Além da relação direta das emissões de CO₂ com a Ts para todos os tratamentos, a densidade do solo influenciou indiretamente as emissões para a FN. A quantidade de ácido húmico induziu a maior emissão para PD. O aumento dos teores de H+Al, além da redução da BMS aumentaram as emissões na PR. Enquanto a redução da quantidade de humina contribuiu para o aumento das emissões na PF;

As maiores emissões de CO₂ foram provenientes da PD que apresentou menores Us e maiores Ts. Enquanto as menores emissões aconteceram na PF que apresentou as maiores Us e menor Ts em todo o experimento.

3.6 REFERÊNCIAS

ABDALLA, K.; MUTEMA, M.; CHIVENGE, P.; EVERSON, C.; VICENT, C. Grassland degradation significantly enhances soil CO₂ emission. **Catena**, v. 167, 284–292, 2018.

BARBOSA, M.A.; DE SOUSA FERRAZ, R.L.; COUTINHO, E.L.M.; NETO, A.M.C.; DA SILVA, M.S.; FERNANDES, C.; RIGOBELLO, E.C. Multivariate analysis and modeling of soil quality indicators in long-term management systems. **Science of The Total Environment**, v. 657, n. 20, p. 457-465, 2018.

BARROS, J. D. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; PEREIRA, W. E. Effects of Different Soil Management Systems in the Chemical Properties in the

Coastal Plains of State Paraíba. **Iranica Journal of Energy & Environment**, v. 2, n. 4, p. 339-347, 2011.

BOND-LAMBERTY, B.; THOMSON, A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record. **Nature**, v. 464, p. 579–582, 2010.

BORGES, C. S.; RIBEIRO, B. T.; WENDLING, B.; CABRAL, D. A. Soil aggregation, organic carbon and CO₂ emission in different land uses in Brazilian Savanna, Triangulo Mineiro region. **Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 660-675, 2015.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020 – 2030): Plano ABC+ (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília: MAPA/ACS, 2021, 28 p.

BRITO, M. R.; SIQUEIRA, F.L.T.; SOUZA, I.J.A.; SOUSA, R.N. Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado. **Revista Desafios**, v. 5, n. Especial, p. 114-124, 2018.

CARBONBRIEF. **Quais países são historicamente responsáveis pelas mudanças climáticas?** 2021. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change>>. Acesso em: 25 de novembro de 2021.

CONCEIÇÃO, M.; MANZATTO, C.V.; ARAÚJO, W.S.; MARTIN NETO, L.; SAAB, S.C.; CUNHA, T.J.F.; FREIXO, A.A. **Estudo comparativo de métodos de determinação do teor de matéria orgânica em organossolos**. Rio de Janeiro, Embrapa, 1999. 4p. (Comunicado Técnico, 2).

COSTA, M. P.; SCHOENEBOOM, J. C.; OLIVEIRA, S. A.; VINAS, R. S.; DE MEDEIROS, G. A. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1460-1471, 2018.
CHEN, X.; DHUNGEL, J.; BHATTARAI, S. P.; TORABI, M.; PENDERGAST, L.; MIDMORE, D. J. Impact of oxygation on soil respiration, yield and water use efficiency of three crop species. **Journal of Plant Ecology**, v. 4, n. 4, p. 236-248, 2011.

CHEN, J.; ZHOU, X.; WANG, J.; HRUSCA, T.; SHI, W.; CAO, J.; ZHANG, B.; XU, G.; CHEN, Y.; LUO, Y. Grazing exclusion reduced soil respiration but increased its temperature sensitivity in a Meadow Grassland on the Tibetan Plateau. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 3, p. 675-687, 2016.

CHEVALLIER, T.; HMAIDI, K.; KOUAKOUA, E.; BERNOUX, M.; GALLALI, T.; TOUCET, J.; BARTHÈS, B. G. A proteção física do carbono do solo em macroagregados não reduz a dependência da temperatura das emissões de

CO₂ do solo. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 178, n. 4, p. 592-600, 2015.

DA SILVA, D.M.N.; VENTURIM, C.H.P.; VALORY CAPUCHO, M.E.O.; DE OLIVEIRA, F.L.; DE SÁ MENDONÇA, E. Impacto dos sistemas de cobertura do solo na qualidade do solo e na produção orgânica de yacon. **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 407–412, 2018.

DE SOUZA, K. W.; PULROLNIK, K.; JÚNIOR, R. G.; MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; DE CARVALHO, A. M.; DE OLIVEIRA, A. D. **Offsetting greenhouse gas (GHG) emissions through crop-livestock-forest integration**. Embrapa Cerrados-Circular Técnica, 43). 2020. 13p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Manual de métodos de Análises de Solo**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 1997, 212 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Manual de métodos de Análises de Solo**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2011, 225 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Manual de métodos de Análises de Solo**. 3 ed. Brasília, DF : Embrapa, 2017, 577 p.

EPRON, D.; BOSC, A.; BONAL, D.; FREYCON, V. Spatial variation of soil respiration across a topographic gradient in a tropical rain forest in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 5, p. 565–574, 2006.

FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R.; BORDONAL, R. O.; TEIXEIRA, E. B.; BERCHIELLI, T. T.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂–C Emissions and Correlations with Soil Properties in Degraded and Managed Pastures in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 4, p. 1263-1273, 2016a.

FIGUEIREDO, E.B.; PANOSSO, A.R.; BORDONAL, R. O.; TEIXEIRA, D.D.B.; BERCHIELLI, T.T.; LA SCALA, N. Emissões de CO₂-C do Solo e Correlações com Propriedades do Solo em Pastagens Degradadas e Manejadas no Sul do Brasil. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 4, p. 1263–1273, 2016b.

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, n. 1, p. 394-406, 2015.

GRAF, A.; HERBST, M.; WEIHERMULLER, L.; HUISMAN, J. A.; PROLINGHEUER, N.; BORNEMANN, L.; VEREECKEN, H. Analyzing the spatiotemporal variability of heterotrophic soil respiration at a field scale using orthogonal functions. **Geoderma**, v. 181, p. 91–101, 2012.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BRANDÃO, O. JR.; KASCHUK, G.; SOUZA, R.A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three tillage systems and two crop rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288–296, 2009.

IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR, N. Soil tillage and emission of CO₂, soil temperature and soil moisture in a sugarcane área. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola & Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 497-504, 2015.

LA SCALA JR. N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G.T. Shortterm soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 91, n. 1-2, p. 244-248, 2006.

LAL, R. Seqüestro de carbono do solo para mitigar as mudanças climáticas. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 363, n. 1492, p. 815–830, 2008.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, v. 60, n. 1, p. 158-169, 2009.

LAPIG. **Atlas Digital das Pastagens Brasileiras**. 2021. Disponível em: <<https://pastagem.org/map>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

LI, Y.; DONG, S.; LIU, S.; ZHOU, H.; GAO, Q.; CAO, G.; WANG, X.; SU, X.; ZHANG, Y.; TANG, L.; ZHAO, H.; XIAOYU, W. Seasonal changes of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in different types of alpine grassland in the Qinghai-Tibetan Plateau of China. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 80, p. 306-314, 2015.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R.; RIBEIRO, A. L. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 276-280, 2000.

LOPES, L. B.; PITTA, R. M.; ECKSTEIN, C.; PEDREIRA, B. C.; GROSSI, P.C.; SINDEAUX, E.; PERUFFO, R.G.; CORNELINSEN, T. G. Diversity of coleopterans associated with cattle dung in open pastures and silvopastoral systems in the brazilian amazona. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 6, p. 2277-2287, 2020.

LUO, J.; SONG, Y.; LIANG, J.; LI, T.; ISLAM, E.; LI, T. Elevated CO₂ mitigates the negative effect of CeO₂ and Cr₂O₃ nanoparticles on soil bacterial communities by alteration of microbial carbon use. **Environmental Pollution**, v. 263, n. 114456, p. 1-11, 2020.

MACDONALD, C. A.; CRAWLEY, M. J.; WRIGHT, D. J.; KUCZYNSKI, J.; ROBINSON, L.; KNIGHT, R.; AL-SOUD, W. A.; SORENSEN, S. J.; DENG, Y.; ZHOU, J.; SINGH, B. K. Identifying qualitative effects of different grazing types on below-ground communities and function in a long-term field experiment. **Environmental Microbiology**, v. 17, n. 3, p. 841–854, 2014.

MANTOVANELLI, B. C.; COUTINHO ALHO, L.; CAMPOS, M.C.C.; CUNHA, J.M.; AMORIM OLIVEIRA, L. Atributos de pedoindicadores na variação do

efluxo de CO₂ em solos de terra negra e não antrópicos da Índia. **Gerenciamento de carbono**, v. esp, p. 1-13, 2020.

MARTINS, M.R.; CORA, J.E.; JORGE, R.F.; MARCELO, A.V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil Till. Res.**, v. 104, n. 1, p. 22–29, 2009.

MASCARENHAS, A.R.P.; SCCOTI, M. S. V.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; BERAMIN, A. C.; MULLER, M.W. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 19-27, 2017.

MAIER, M.; SCHACK-KIRCHNER, H.; HILDEBRAND, E.E.; SCHINDLER, D. Efluxo de CO₂ do solo vs. respiração do solo: implicações para modelos de fluxo. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 12, p. 1723–1730, 2011.

MEIXNER, F. X.; YANG, W. X. Biogenic emissions of nitric oxide and nitrous oxide from arid and semi-arid land. In: D'odorico, P., Porporato, A., (Ed.). **Dryland ecohydrology**. Dordrecht: Springer, p. 233–255, 2006.

MOITINHO, M. R.; FERRAUDO, A. S.; PANOSSO, A. R.; BICALHO, E. S.; TEIXEIRA, D. B.; BARBOSA, M. A.; TSAI, S. M.; BORGES, B. M. F.; CANNAVAN, F. S.; SOUZA, J. A. M.; LA SCALA, N. Effects of burned and unburned sugarcane harvesting systems on soil CO₂ emission and soil physical, chemical, and microbiological attributes. **Catena**, v. 196, n. 104903, 2021.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; DA SILVA BICALHO, E.; FERRAUDO, A. S.; DE BORTOLI TEIXEIRA, D.; DE SOUZA BAHIA, A. S. R.; LA SCALA JR. N. Short-Term Soil CO₂ Emission and Soil Attributes Under Contrasting Sugarcane Cultivars. **Sugar Tech**, v. 20, p. 658-668, 2018.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1720-1728, 2013.
MOITINHO, M.R.; TEIXEIRA, D.; BICALHO, E.; PANOSSO, A. R.; FERRAUDO, A. S.; PEREIRA, G. T.; TSAI, S. M.; BORGES, B. M. F.; LA SCALA JR. N. Soil CO₂ emission and soil attributes associated with the microbiota of a sugarcane area in southern Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 8325, 2021.

OLIVEIRA, C. F., 2018. **Variabilidade espacial da emissão de CO₂ e estoque de carbono do solo em áreas de eucalipto e sistema silvipastoril**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira.

ORDÓÑEZ, L.; LÓPEZ, L. F.; KEMP, P. D.; DESCALZI, C. A.; HORN, R.; ZÚÑIGA, F.; DÖRNER, J. Effect of pasture improvement managements on

physical properties and water content dynamics of a volcanic ash soil in southern Chile. **Soil and Tillage Research**, v. 178, p. 55-64, 2018.

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC. **Climate Change 2014**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team: Pachauri RK, Meyer LA, editores.]. IPCC: Geneva, 2014. 151p.

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC. **An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. 2020. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srccl/>>. Acesso em: 03 de março de 2021.

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC. **Climate Change 2021**: The Physical Science Basis. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report_smaller.pdf>. Acesso em: 20 de novembro de 2021.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil & Tillage Research**, v. 105, n. 2, p. 275- 282, 2009.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil Tillage & Research**, v. 111, n. 2, p. 190–196, 2011.

R Core Team. **R**: Uma linguagem e ambiente para computação estatística. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria, 2020.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**, 4ª ed. Campinas: Fund. Cargill, 1985. 466p.

ROCHA, S. J. S. S.; SCHETTINI, B. L. S.; ALVES, E. B. B. N.; VILLANOVA, P. H.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; BRIANEZI, D. Balanço de carbono em três sistemas silvipastoril no sudeste do Brasil. **Revista Espacios**, v. 38, n. 39, p. 1-8, 2017.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 359-376, 2012.

SAIZ, G.; GREEN, C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R.; AVITABILE, V.; FARRELL, E. P. Seasonal and spatial variability of soil respiration in four Sitka spruce stands. **Plant and Soil**, v. 287, n. 1-2, p. 161-176, 2006.

SANTOS, G. A. A.; MOITINHO, M. R.; OLIVEIRA, B. S.; XAVIER, C. V.; TEIXEIRA, D. B.; CORÁ, J. E.; LA SCALA JÚNIOR, N. Effects of long-term no-tillage systems with different succession cropping strategies on the variation of soil CO₂ emission. **Science Of The Total Environment**, v. 686, p. 413-424, 2019.

SANTOS, H.G.; JACONIME, P, K, T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

SANTOS, L. L. D.; LACERDA, J. J. J.; ZINN, Y. L. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 955-968, 2013.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLI, H. **Determinação da Respiração Basal do Solo (RBS) e Quociente Metabólico do Solo (qCO₂)**. Seropédica. EMBRAPA Agrobiologia, 2007. 4p. (Embrapa Agrobiologia, Comunicado Técnico 99).

SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Revisão ampliada. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, D. A. P., CAMPOS, M. C. C, MANTOVANELLI, B. C., SANTOS, A. C. S., SOARES, M. D. R., CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área de pastagem na região Amazônica, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 119-126, 2019.

SILVA, D.M.P.; CAMPOS, M.C.C.; FRANCISCON U.; ALHO, L. C.; SANTOS, L. A. C.; NETO, P. P.; BERGAMIN, A. C.; SOUZA, Z. M. Spatial variability of soil properties in archeological dark earth sites under cacao cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–12, 2016.

SILVA-OLAYA, A.M.; CERRI, C.E.P.; LA SCALA JR. N.; DIAS, C.T.S.; CERRI, C.C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2013.

SIX, J.; FREY, S.D.; THIET, R.K.; BATTEN, K.M. Contribuições bacterianas e fúngicas para o sequestro de carbono em agroecossistemas. **Soil Science Society of America Journal**, v, 70, n. 2, 2006.

SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Oral Sciences**, v. 69, n. 1, p. 10-20, 2018.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; PERILLO, L. I.; IAMAGUTI, J. L.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1466-1475, 2012.

THOMAZINI, A.; MENDONÇA, E. S.; SOUZA, J. L.; CARDOSO, I. M.; GARBIN, M. L. Impact of organic no-till vegetables systems on soil organic matter in the Atlantic Forest biome. **Scientia Horticulturae**, v. 182, p. 145–155, 2015.

TORRALBA, M.; FAGERHOLM, N.; BURGESS, P. J.; MORENO, G.; PLIENINGER, T. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 230, n. 1, p. 150-161, 2016.

TORRES, C. M. M. E. **Estocagem de carbono e inventário de gases de efeito estufa em sistemas agroflorestais, em Viçosa, MG**. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2015. 97p.

TORRES, C.M.M.E.; JACOVINE, L.A.G.; OLIVEIRA NETO, S.N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E.B.B.M. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 235-244, 2014.

VILLANUEVA-LÓPEZ, G.; MARTÍNEZ-ZURIMENDI, P.; RAMÍREZ-AVILÉS, L.; ARYAL, D. R.; CASANOVA-LUGO, F. Cercas Vivas Reduzem As Flutuações Diurnas E Sazonais Das Emissões De CO₂ Do Solo Em Sistemas De Gado. **Agronomy For Sustainable Development**, v. 36, n. 1, 2016.

XAVIER, C.V.; MOITINHO, M.R.; DE BORTOLI TEIXEIRA, D.; SANTOS, G. A. A.; DE ANDRADE BARBOSA, M.; BASTOS PEREIRA MILORI, D.M.; LA SCALA JÚNIOR, N. Rotação e sucessão de culturas em sistema de plantio direto: implicações para a emissão de CO₂ e atributos do solo. **Journal of Environmental Management**, v. 245, p. 8-15, 2019.

YUSTE, J.C.; BALDOCCHI, D.B.; GERSHENSON, A.; GOLDSTEIN, A.; MISSON, L.; WONG, S. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. **Global Change Biology**, v. 13, p. 2018–2035, 2007.

ZHU, D.; CIAIS, P.; KRINNER, G.; MAIGNAN, F.; JORNET PUIG, A.; HUGELIUS, G. Controls of soil organic matter on soil thermal dynamics in the northern high latitudes. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, 2019.