

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

PEDRO ANTONIO GARZÓN CAMACHO

**Estoque de carbono no solo sob diferentes manejos de pastagens em ambiente
subtropical de altitude**

**LAGES
2021**

PEDRO ANTONIO GARZÓN CAMACHO

Estoque de carbono no solo sob diferentes manejos de pastagens em ambiente subtropical de altitude

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal, Área de Concentração: Produção Animal.
Orientador: Dr. André Fischer Sbrissia.
Coorientador: Dr. Cassiano Eduardo Pinto.

LAGES

2021

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Garzón Camacho, Pedro Antonio

Estoque de carbono no solo sob diferentes manejos de pastagens em ambiente subtropical de altitude / Pedro Antonio Garzón Camacho. -- 2021.

101 p.

Orientador: André Fischer Sbrissia

Coorientador: Cassiano Eduardo Pinto

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação , Lages, 2021.

1. Pastagem natural. 2. Pastagem anual. 3. Jiggs. 4. Densidade Produção Forrageira. 5. Manejo. I. Fischer Sbrissia, André. II. Pinto, Cassiano Eduardo. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação . IV. Título.

PEDRO ANTONIO GARZÓN CAMACHO

Estoque de carbono no solo sob diferentes manejos de pastagens em ambiente subtropical de altitude

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal, Área de Concentração: Produção Animal.
Orientador: Dr. André Fischer Sbrissia.
Corientador: Dr. Cassiano Eduardo Pinto.

BANCA EXAMINADORA

André Fischer Sbrissia
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Douglas Adams Weiler
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Lages, SC 19 de julho de 2021.

Dedico essa dissertação à minha família,
mãe, pai e avô, por todo o amor, educação e
apoio sem faltas.

A minha namorada.

A todas as pessoas que colaboraram com
paciência e amizade.

AGRADECIMIENTOS

Agradeço a todos que contribuíram com a realização deste trabalho;

Aos meus familiares; Miriam, Ignacio e Senovia pelo apoio e amor incondicional.

À minha namorada Bárbara pelo apoio.

Às famílias Guerrero-Mendez e Amorim pelo apoio ao chegar a um país estrangeiro com língua e cultura diferentes.

Ao meu orientador Dr. Sbrissia, que, mas que ser um ótimo orientador, foi um professor de vida para mim, com seu impecável comportamento e infinita paciência.

A todo o pessoal da EPAGRI que participou na pesquisa; Dr. Cassiano Eduardo Pinto e Tiago Celso Baldissera, o pessoal técnico encabeçado pelo Ezequiel, Eron, Sandro, Geovani, Junior e as demais pessoas que deram apoio na realização dos trabalhos.

Ao Dr. Fábio Cervo Garagorry em representação da EMBRAPA.

À Dra. Janquieli Schirmann, pelo assessoramento e oportunas correções.

A todos os professores que me deram aula e esclareceram minhas dúvidas.

Aos bolsistas e estagiários; Cassio, Fernanda, Diego, Emiliano e Muriá.

Ao pessoal parceiro do laboratório de biologia do solo do CAV; a minha equipe que ajudaram a compreender parte do universo do solo Daniela Tomazelli e Rafaela Peron, e colaboraram na coleta das amostras, análises de laboratório e entendimento dos resultados e seu tutor Dr. Osmar Klauberg Filho pelo empréstimo do laboratório.

Ao pessoal do grupo de pesquisa NUPEP, por me auxiliar nas dúvidas sobre os sistemas de pastagens; Dr. Daniel Schmitt, Angela Bernardon, Daniel Barreta, Francieli Prado, Fábio Luís Winter e Valentina Mendez.

À UDESC e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal pela oportunidade.

À CAPES e à PROMOP pela concessão das bolsas de estudo.

Muito obrigado!

“ A educação deve formar seres aptos para governar a si mesmos e não para ser governados pelos outros”

Herbert Spencer

RESUMO

As pastagens são suporte econômico a pecuaristas e de qualidade para a criação do gado. Os manejos dos sistemas de pastagens influenciam os fatores controladores da dinâmica do C em solos agropecuários e, portanto, no seu estoque no solo. O objetivo deste estudo foi avaliar, a dinâmica do carbono do solo nos sistemas produtivos: pastagem natural (PN), pastagem natural melhorada (PM), pastagem perene (PP) e pastagem anual (PA) após 5 anos de uso em Cambissolo na estação experimental da EPAGRI, Lages (SC) Brasil. Foram considerados os quatro sistemas produtivos como dispostos em delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições dado que pela distribuição espacial dos sistemas estes não puderam ser casualizados. Foi avaliada a granulometria (método da pipeta), porosidade (método da mesa de tensão) e densidade (método do anel volumétrico) do solo assim como o carbono orgânico (combustão seca) e estoque de carbono em camadas (0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm). Nas pastagens foram avaliadas a produção de pasto, a relação C/N da parte aérea, composição florística, e o sistema radicular das pastagens durante um ano. O teor de argila foi empregado como covariável na análise estatística do carbono orgânico e estoque de carbono. Os sistemas forrageiros influenciaram significativamente a porosidade e a densidade do solo, PN e PM foram os solos menos densos e mais porosos. Os teores de carbono dos sistemas variaram apenas nas camadas 0-5, 10-20 e 60-100, sendo que as variações nas camadas superficiais podem ser atribuídas ao manejo dos sistemas de pastagens. O teor de carbono no solo dos sistemas avaliados é alto e característico de solos da região. Os estoques de carbono foram semelhantes entre os sistemas PN (270 Mg ha^{-1}), PM (255 Mg ha^{-1}), PP (274 Mg ha^{-1}) e PA (256 Mg ha^{-1}), o que pode ser relacionado ao histórico de manejo nas pastagens. A produção de MS variou significativamente de 6.615, 9.552, 9.771 e $13.044 \text{ kg ha ano}^{-1}$ para PN (c), PM (b), PA (b) e PP (a), respectivamente. De forma geral, as produções de forragem foram afetadas negativamente pelas estiagens no último ano de avaliação dos sistemas. PM e PN apresentaram maior variedade florística, densidade e diâmetro de raiz quando comparados ao PP e PA.

Palavras-chave: Pastagem natural, Pastagem anual, Jiggs, Densidade Produção Forrageira, Manejo.

ABSTRACT

The pastures provide economic support for ranchers and quality for raising cattle. I handle two pasture systems influencing the factors that control C dynamics in agriculture and therefore it is not your stock, not only. The aim of this study was to validate the carbon dynamics of our production systems only: Natural Pasture (NP), Improved Natural Pasture (IP), Perennial Pasture (PP) and Annual Pasture (AP) after 5 years of use in Cambisol at the EPAGRI experimental station, Lages (SC) Brazil. The four productive systems are considered to be arranged in block design each year, with four replications, since the spatial distribution of the two systems cannot be accidental. It is validated by particle size (pipette method), porosity (tension table method) and density (volumetric ring method) of organic carbon only (dry combustion) and layered carbon stock (0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm). Pastures are valued for their pasture production, C/N ratio of shoots, floristic composition and pasture root system for one year. Clay theory was undertaken as a variable in a statistical analysis of organic carbon and carbon stock. Forage systems significantly influenced the porosity and density of the soil, PN and PM were the least dense and most porous soils. The carbon contents of the systems varied only in the 0-5, 10-20 and 60-100 layers, and the variations in the superficial layers can be attributed to the management of the pasture systems. The soil carbon content of the evaluated systems is high and characteristic of the region's soils. Carbon stocks were similar between PN (270 Mg ha⁻¹), PM (255 Mg ha⁻¹), PP (274 Mg ha⁻¹) and PA (256 Mg ha⁻¹), which can be related the pasture management history. The DM production varied significantly from 6,615, 9,552, 9,771 and 13,044 kg ha yr⁻¹ for PN (c), PM (b), PA (b) and PP (a), respectively. In general, forage productions were negatively affected by droughts in the last year of evaluation of the systems. PM and PN had greater floristic variety, density and root diameter when compared to PP and PA.

Keywords: Natural Pasture, Annual Pasture, Jiggs, Forage Production Density, Management.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Pluviosidade do Planalto Serrano e do Estado de Santa Catarina.....	19
Tabela 2 -	Atributos químicos do solo sob os sistemas avaliados; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA)	43
Tabela 3 -	Textura do solo segundo as camadas dos sistemas produtivos; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA).....	49
Tabela 4 -	Percentagem de contribuição por espécie na massa de forragem pelo método Botanal nos sistemas de pastagens em duas épocas do ano.....	63
Tabela 5 -	Produção forrageira nos sistemas e relação carbono/nitrogênio da parte aérea dos sistemas forrageiros; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA).....	65
Tablea 6 -	Tabela 6 - Diâmetro (mm), volume (cm ³) e a densidade de matéria seca (g/m ²) das raízes dos sistemas forrageiros; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA).....	69

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 -** Temperatura e precipitação do último ano período experimental e médias históricas dos últimos 58 anos, referentes à Estação Experimental de Lages (Epagri/Ciram)... 40
- Figura 2 -** Distribuição dos sistemas de pastejo; A - Pastagem Natural, B - Pastagem Anual, C - Pastagem Natural Melhorado e D - Pastagem Perene..... 42
- Figura 3 -** Porosidade e densidade do solo no perfil do solo para os distintos sistemas produtivos; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA)..... 50
- Figura 4 -** Teor de carbono orgânico e estoque de carbono no perfil do solo nos sistemas de produção de pastagens; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA)..... 54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Acumulo Forrageiro.
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada.
Cfb	Clima Mesotérmico Úmido.
COS	Carbono Orgânico do Solo.
COT	Carbono Orgânico Total.
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GEE	Gases do Efeito Estufa.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
M1	Manejo de campo nativo tipo 1.
M2	Manejo de campo nativo tipo 2.
M3	Manejo de campo nativo tipo 3.
M4	Manejo de campo nativo tipo 4.
M5	Manejo de campo nativo tipo 5.
M6	Manejo de campo nativo tipo 6.
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.
MF	Massa de Forragem.
MOS	Matéria Orgânica do Solo.
MS	Matéria Seca.
PA	Pastagens Anuais
pH	Potencial de Hidrogênio.
PIB	Produto Interno Bruto.
PM	Pastagens Nativa Melhorada.
PN	Pastagens Nativas.
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.
PP	Pastagens Perene.
SC	Santa Catarina.

SEEG

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa.

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem.
<	Menor.
>	Maior.
°C	Grau célsius.
Al	Alumínio.
C	Carbono.
C/N	Relação carbono nitrogênio.
C ₃	Gramíneas invernais.
C ₄	Gramíneas estivais.
Ca	Cálcio.
C-CO ₂	Carbono em forma de dióxido de carbono.
CH ₄	Metano.
cm	Centímetro.
cm ³ cm ⁻³	Centímetros cúbicos / centímetros cúbicos.
cmol	Centimol.
cmol _c dm ⁻³	Centimol de carga/decímetro cúbico.
CO	Carbono orgânico.
CO ₂	Dióxido de carbono.
CTC	Capacidade de troca de cátions.
Cu	Cobre.
g	Gramas.
g cm ⁻³	Gramas por centímetro cúbico.
H+Al	Acidez potencial.
Ha	Hectare.
K	Potássio.
Kg	Quilograma.
L	Litro.
m	Metros.
m ²	Metro quadrado.

m ³	Metro cúbico.
Mg	Megagrama.
mg	Miligramma.
Mg	Magnésio.
Mm	Micrômetro.
mm	Milímetro.
Mol	Molar.
N	Nitrogênio.
N ₂ O	Óxido nitroso.
NaOH	Hidróxido de sódio.
°S	Longitude este.
°W	Longitude oeste.
P	Fósforo.
PG	Pentagrama.
pH	Potencial hidrônio.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1	CLIMA E SISTEMAS DE PASTAGEM NO SUL DO BRASIL.....	19
2.2	INFLUÊNCIA DO MANEJO DA PASTAGEM SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	25
2.3	MATÉRIA ORGÂNICA E ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO.....	28
2.4	IMPORTÂNCIA DO ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO.....	30
2.5	INFLUÊNCIA DO MANEJO DA PASTAGEM SOBRE O ESTOQUE DE CARBONO.....	32
2.6	RELAÇÃO pH E CLIMA COM O ESTOQUE DE CARBONO.....	35
2.7	RELAÇÃO TEMPO DE MANEJO COM O ESTOQUE DE CARBONO.....	36
3	HIPÓTESES.....	38
3.1	GERAL.....	38
3.2	ESPECÍFICAS.....	38
4	OBJETIVOS.....	39
4.1	GERAL.....	39
4.2	ESPECÍFICOS.....	39
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	40
5.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL.....	40
5.2	NÍVEIS DE MANEJO DAS PASTAGENS.....	40
5.3	AVALIAÇÃO NOS SISTEMAS FORRAGEIROS.....	43
5.3.1	Altura do dossel forrageiro.....	43
5.3.2	Produção Forrageira.....	44
5.3.3	Composição Florística.....	45
5.3.4	Avaliações nos sistemas radiculares.....	45
5.4	AVALIAÇÃO NO SOLO.....	45
5.4.1	Amostragem e análises do solo.....	45
5.4.2	Granulometria.....	46
5.4.3	Densidade e porosidade.....	46
5.4.4	Carbono orgânico do solo (COT) e estoque de carbono.....	46
5.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	47

6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
6.1	GRANULOMETRIA.....	48
6.2	POROSIDADE E DENSIDADE.....	50
6.3	TEOR DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO DAS PASTAGENS.....	53
6.4	ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO.....	56
6.4.1	Manejo do solo e o estoque de carbono.....	58
6.4.2	pH do solo e adubação da pastagem e o estoque de C no solo.....	60
6.4.3	Número e tipo de espécie.....	61
6.4.4	Produção Forrageira.....	64
6.4.5	Relação C/N, quantidade de raízes e o estoque de C no solo.....	67
6.4.6	Regime de desfolha e carga animal.....	69
6.4.7	Temperatura.....	70
6.4.8	Tempo de manejo.....	71
7	CONCLUSÃO.....	72
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74
	ANEXO A - POROSIDADE E DENSIDADE DO SOLO NAS CAMADAS DOS SISTEMAS PRODUTIVOS; PASTAGEM NATURAL (PN), PASTAGEM NATURAL MELHORADA (PM), PASTAGENS PERENE (PP) E PASTAGENS ANUAL (PA).....	97
	ANEXO B - TEOR DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO NOS SISTEMAS PASTAGEM NATURAL (PN), PASTAGEM NATURAL MELHORADA (PM), PASTAGENS PERENE (PP) E PASTAGENS ANUAL (PA).....	98
	ANEXO C - ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO NOS TRATAMENTO PASTAGEM NATURAL (PN), PASTAGEM NATURAL MELHORADA (PM), PASTAGENS PERENE (PP) E PASTAGENS ANUAL (PA).....	99
	ANEXO D - COMPOSIÇÃO BOTÂNICA (%) DOS SISTEMAS DE PASTAGENS PASTAGEM NATURAL (PN), PASTAGEM NATURAL MELHORADA (PM), PASTAGENS PERENE (PP) E PASTAGENS ANUAL (PA).....	100

1 INTRODUÇÃO

As pastagens contribuem na subsistência de mais de 800 milhões de pessoas e representam uma gama de bens e serviços ecossistêmicos para apoiar a flora, a fauna e as populações humanas (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). A produção de gado tem um importante papel econômico, ambiental e social no Brasil, sendo que, em 2019, o agronegócio representou cerca de 21,4% do produto interno bruto (PIB) brasileiro. O país possui o maior rebanho comercial do mundo, apresentando aumento de 3,81% em relação ao ano 2018 (CEPEA, 2020), é uma das indústrias com maior geração de emprego para o país e o estado de Santa Catarina. Entretanto, mundialmente, há uma crescente preocupação quanto ao impacto da criação de animais na emissão de gases de efeito estufa.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006), pertencente ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI), através da sua Estimativa Anual de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil (MCTI, 2017), estima que o setor pecuário é um dos grandes emissores de gases de efeito estufa (GEE), como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O), devido a fermentação gastrointestinal do gado (o metano), seguido pelo manejo inadequado das pastagens. As pastagens e os solos com suas diferentes formas de manejo estão em foco, sobretudo porque o solo é considerado sumidouro (estoque) ou fonte de carbono atmosférico em forma de CO_2 (CONANT *et al.*, 2017), dependendo do manejo adotado dos sistemas. Chenu *et al.* (2019) define o estoque de carbono o processo da incorporação do CO_2 atmosférico para uma unidade específica de solo, por meio das plantas, resíduos vegetais e outras formas orgânicas que são armazenados na unidade como parte de matéria orgânica no solo ou húmus.

O carbono é o elemento fundamental dos compostos orgânicos, que circulam através dos oceanos, da atmosfera, do solo, subsolo e nos seres vivos, todos estes são considerados reservatórios de carbono (CONANT *et al.*, 2017). Em escala global os principais reservatórios de carbono são os oceanos (38.000 PG C), seguido pelas formações geológicas (5.000 PG C), o solo (2.500 PG C) e por último a atmosfera (740

PG C) (LAL *et al.*, 2004; CERRI *et al.*, 2006). A atmosfera é o menor e o mais dinâmico dos reservatórios do ciclo do carbono, somado a isso, todas as mudanças que ocorrem neste reservatório têm estreita relação com as mudanças do ciclo global de carbono e do clima (LAL *et al.*, 2004). Sendo que o solo tem grande capacidade de estocar parte do carbono atmosférico, o que faz dele um setor chave para diminuir o aquecimento global (CONANT *et al.*, 2017).

Diversas investigações indicam que ações combinadas de manejos de sistemas de pastagens podem resultar em respostas positivas que podem ser a base para tornar o agronegócio uma parte importante da solução para as mudanças climáticas globais e para o avanço da segurança alimentar (CONANT *et al.*, 2017). A capacidade de sequestro de C dos solos em pastagens pode ser influenciada pelo manejo e por fatores relacionados às características químicas e físicas do solo e o clima, sendo estes: a textura, pH e incorporação de nutrientes via a adubação, o manejo do solo na implantação e manutenção das pastagens, a quantidade de espécies forrageiras e seu metabolismo fotossintético (C₃ e C₄), o regime de desfolha, e a carga animal, o sistema radicular, a produção primária líquida, a temperatura da região e o tempo de manejo (CONANT, PAUSTIAN; ELLIOTT, 2001; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; CONANT, *et al.* 2017;). O aumento do estoque de carbono no solo é mais expressivo nos sistemas de pastagens bem manejadas onde se conserva a estrutura do solo, se controla a altura ideal de pastejo, o solo é fertilizado e existe a presença de diversas espécies forrageiras (TABOADA, *et al.*, 2011; CONANT, *et al.*, 2017).

O objetivo deste estudo foi avaliar e comparar a influência dos manejos dos quatro principais sistemas de pastagens (PN, PM, PP e PA) mais implementados no estado de Santa Catarina, Brasil, sobre o estoque de carbono no solo, por 5 anos de implantação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CLIMA E SISTEMAS DE PASTAGEM NO SUL DO BRASIL

Os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul compõem a região Sul do Brasil, situando-se na zona de transição entre os climas tropical e temperado. Especificamente, o clima da mesorregião da Serra Catarinense ou Planalto Serrano é mesotérmico úmido (Cfb), segundo classificação de Köppen, com invernos rigorosos, verões amenos e chuva bem distribuída ao longo do ano (EPAGRI, 2002; ALVARES *et al.*, 2013). Os meses mais chuvosos são janeiro e fevereiro e os meses mais secos, entre março e agosto. No Planalto Serrano, a pluviosidade anual e mensal está um pouco abaixo da média do estado catarinense. A Tabela 1 apresenta as precipitações mínimas, médias e máximas mensal e anual no Planalto Serrano e no estado de Santa Catarina com base nos dados históricos ocorridos entre os anos de 1975 a 2014 (GOTARDO, 2018):

Tabela 1- Pluviosidade do Planalto Serrano e do Estado de Santa Catarina.

Região	Média anual	Mínimo anual registrado	Máximo anual registrado	Média mensal	Mínimo mensal registrado	Máximo mensal registrado
	----- mm -----					
Planalto Serrano	1.693,00	1.223,70	2.550,90	137,32	1,60	811,80
Estadual	1.748,50	1.187,80	2.673,30	146,95	2,05	1.082,20

Fonte: retomado e modificado de Gotardo (2018).

Devido a altitude, a temperatura na Serra Catarinense é mais amena. No verão, a média é de 20°C, sendo maior que a média observada na primavera e outono, que é de 15 e 16°C respectivamente, enquanto nos meses de inverno é possível registrar temperaturas negativas e a presença de geadas. As características descritas correspondem a situações normais, mas os episódios de muitas chuvas, como os de pequenas estiagens, podem ser intensificados em função da atuação dos fenômenos climáticos El-Niño e La-Niña, respectivamente (MONTERO, 2001), pela tendência na

variação climática estadual (MINUZZI, 2010) ou pelas mudanças climáticas e condições meteorológicas extremas (MARENGO, 2009). O estado de Santa Catarina conta com diversas variações na altitude e formação geológica, estes fatores em conjunto com o clima influenciam diretamente o desenvolvimento vegetal e a atividade agropecuária (PINTO, entre 2009 e 2019; OMETTO, 1981).

A atividade pecuária é uma importante fonte econômica e de geração de empregos para o estado de Santa Catarina, representando 21,4% do PIB para o ano 2019 (CEPEA, 2020). O método com menor investimento econômico e de infraestrutura usado para a alimentação do rebanho estadual é o pastejo. A biomassa de plantas herbáceas, sejam elas gramíneas ou leguminosas próprias para consumo animal favorecem alimentação preferencial dos herbívoros domésticos (ALLEN *et al.*, 2011).

O controle das relações do sistema solo-planta-animal está definido como manejo das pastagens, o qual visa produzir grande quantidade de alimentos, com alto valor nutritivo, mantendo por um longo prazo a estabilidade e persistência da produção animal, levando em consideração as condições climáticas (PIMENTEL *et al.*, 2016). A estacionalidade climática bem definida (calor e frio, verão e outono), a boa distribuição das chuvas, e a diversidade de espécies forrageiras que estão disponíveis para o cultivo no sul do Brasil fazem com que existam opções para quaisquer sistemas forrageiros que se pretenda utilizar.

Pelo antes exposto, a implantação e manejos das pastagens estão adequados às classificações e aspectos morfológicos e fisiológicos das plantas forrageiras (COSTA *et al.*, 2004). Esta classificação facilita a compreensão e boa seleção de sistemas de produção mais adequados e sustentáveis. Nesta ordem de ideias as plantas forrageiras podem ser classificadas segundo sua família botânica, seu ciclo, duração ou tempo de vida, seu hábito de crescimento e a interferência antropogênica, conforme detalhado nos itens a seguir (MORALES, 1995; MACHADO, 1999).

- **Família botânica.** Este item subdivide as plantas forrageiras em gramíneas (poaceae) ou leguminosas (fabáceas). As gramíneas representam maior produtividade desta seção e volume de alimento para o rebanho, ocupando uma maior extensão do terreno em comparação aos legumes. Por sua vez, as

leguminosas são ricas em proteína, razão pela qual são inseridas para melhorar a qualidade das pastagens. As leguminosas, através dos *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* fixam biologicamente o nitrogênio atmosférico, trazendo benefícios importantes na alimentação animal como a redução da necessidade de adubação nitrogenada na pastagem e do emprego de proteína via concentrados (ARAÚJO, 1978). O consórcio de gramíneas e leguminosas traz impactos positivos na qualidade das pastagens, na economia e no meio ambiente.

- **Ciclo de vida.** Esta classe divide as plantas forrageiras quanto à época do ano na qual concentra-se sua produção ou ciclo de vida, agrupando-as em plantas de ciclo estival (verão) ou hiberna (inverno). As plantas hibernais germinam e brotam no outono, desenvolvendo-se durante o inverno e florescendo na primavera. As plantas estivais iniciam seu rebrote ou germinação na primavera, crescem no verão e outono, e com a chegada do inverno morrem ou paralisam seu crescimento (MORALES, 1995). Pelo clima da região sul do Brasil é essencial a implementação de espécies forrageiras de distintos ciclos produtivos para o consumo dos animais durante todo o ano. Segundo seu metabolismo fotossintético, a maioria das gramíneas estivais são plantas C_4 e as gramíneas e leguminosas hibernais são C_3 (MORALES, 1995).
- **Duração ou tempo de vida.** As representantes mais comuns desta divisão são as plantas anuais e perenes. As anuais são aquelas que tem um ciclo de vida limitado a uma estação de crescimento, as quais cumprem todos seus estágios de desenvolvimento neste período, sendo eles: germinação, emergência, formação de folhas e perfilhos, alongamento de entrenós, pré-florescimento, florescimento, maturação das sementes, senescência e morte (MORALES, 1995). As perenes são as plantas que colonizam a área e estabelecem a espécie em um longo período de tempo através da propagação vegetativa e/ou por sementes, continuando com seu crescimento vegetativo no seguinte ciclo de florescimento (MORALES, 1995). Um fator importante a se tomar em consideração é que seu desenvolvimento pode ser limitado temporalmente sob condições climáticas adversas como calor ou frio intenso assim como a limitação hídrica, mas com

rebrote na seguinte estação de crescimento (CAVALCANTE, 2009; PIMENTEL *et al.*, 2016).

- **Hábito de crescimento.** Neste ponto temos as plantas de crescimento vertical, perpendicular ao solo, plantas eretas, entouceiradas ou cespitosas e as plantas de crescimento rasteiro, estoloníferas e/ou rizomatosas (MACHADO, 1999). As plantas de crescimento vertical são formadoras de touceiras bem definidas, e vulneráveis a alta pressão do pastejo, dado que os pontos de crescimento (gemas) se encontram acima do nível do solo, sendo mais acessíveis ao pastejo dos animais. As estoloníferas são plantas baixas que crescem cobrindo a superfície do solo (tapete vegetal ou gramado) e seus pontos de crescimento, perfilhos, rizomas ou estolões, estão sempre muito próximos do nível do solo, por isso, suportam alta pressão de pastejo, os quais permitem a maior colonização da espécie (MACHADO, 1999).

Existem uma diversidade de pastagens, podendo estar compostas por diferentes espécies ou apenas uma única espécie de plantas, denominadas em termos agronômicos como policultivos e monocultivos respectivamente. O estado de SC utiliza de diversos sistemas forrageiros para produção animal. Dentre estes sistemas destacam-se o uso de pastagem perene, anual, nativa e nativa melhorada. **Pastagem Perene (PP)** é aquela formada por espécies que se perpetuam de forma vegetativa (partes das plantas permanecem vivas ou reprodutivamente (produção de sementes e ressemeadura natural). As plantas perenes estão presentes na mesma área pastoril, vegetando durante seu ciclo de vida (estival e hibernar). O tempo de permanência das pastagens perenes é de mínimo três anos consecutivos e persiste indefinidamente (ALLEN *et al.*, 2011). As pastagens perenes se diferem das **Pastagens Anuais (PA)**, que são aquelas formadas por plantas com ciclo de vida limitado a uma estação. O início do ciclo vegetativo é estabelecido a partir das práticas de preparo da área e sementeira da espécie sujeita, ainda, a condições climáticas adequadas à rápida germinação (ALLEN *et al.*, 2011).

As pastagens também podem ser classificadas de acordo com a interferência antropogênica no sistema em cultivadas e nativas. As pastagens cultivadas, são estabelecidas com espécies exóticas ou nativas onde a vegetação original foi excluída,

podendo receber tratamento cultural periódico, como ressemeadura, fertilização ou controle de ervas daninhas (ALLEN *et al.*, 2011). As **Pastagens Nativas (PN)** são ecossistemas naturais dominados por gramíneas e espécies herbáceas endêmicas (ALLEN *et al.*, 2011). As pastagens naturais da região da Serra Catarinense também são denominadas de Campos de Altitude ou Campos de Cima da Serra, os quais estão fisionomicamente bem definidos em campos palha grossa, quando há dominância de capim-caninha (*Andropogon lateralis* Nees) (BRANDENBURG, 2004; NABINGER; PINTO; BOLDRINI, 2013; ZANELLA, 2021). A espécie *A. lateralis* é uma planta perene de ciclo estival, com produção de forragem concentrada na primavera e verão, de crescimento cespitoso com formação de touceiras (ARAÚJO, 1971; 1978). Apresenta elevada plasticidade fenotípica (ZANELLA, 2021), flexibilidade ante alterações ambientais, o que favorece sua dominância sobre outras espécies e garante sua persistência em pastagens naturais, dependendo das condições ambientais e do manejo aplicado (CRUZ *et al.*, 2010). Os melhores resultados de produtividade da PN com predomínio do capim-caninha na Serra Catarinense têm sido obtidos com manejo de forragem de acordo com altura de entrada para desfolha, de 12 cm e 20 cm, com um rebaixamento do 40%, dado que estes manejos promovem uma maior produção de forragem, favorecendo a diversidade e riqueza florística (ZANELLA, 2021).

Tem-se pesquisado níveis de manejo da PN em prol de otimizar o potencial das PN e incrementar os níveis de produção animal, aumentando o lucro e garantindo a sustentabilidade das PN frente a outras práticas de manejo (MOOJEN; MARASCHIN, 2002; SOARES *et al.*, 2005; MEZZALIRA *et al.*, 2012). Os manejos pesquisados são classificados segundo sua intensidade e estão descritos abaixo (NABINGER; CARVALHO, 2009);

- M1: Manejo corrente, o mais utilizado dos sistemas de recria de bovinos de corte da região, ou seja, apresenta uma produção líquida que gira em torno de 60-70 kg de peso vivo por ano.
- M2: Manutenção fixa da oferta de forragem ao longo do ano. Neste manejo é realizado um ajuste da carga animal segundo a disponibilidade de forragem para manutenção da oferta de forragem diária entre 11,5% e 13,5% do peso vivo.

- M3: Ajuste da oferta de forragem na primavera/verão. Neste manejo é realizado uma variação das ofertas de forragem, utilizando na primavera e verão a oferta de 8% e a oferta de 12% no restante do ano.
- M4: M3 associado a fertilização do solo com cálcio (Ca), fósforo (P) e potássio (K). É realizada uma única fertilização a cada cinco ou seis anos.
- M5: M4 associado à aplicação uréia. O nitrogênio (N) é um dos nutrientes essenciais às gramíneas, sendo que a aplicação dele pode aumentar dez vezes a média da produção.
- M6: M5 associado à introdução de espécies de inverno. Esse manejo permite o crescimento da pastagem mesmo quando as condições de temperatura são adversas.

M1, M2 e M3 são as ferramentas do manejo de qualquer pastagem, e resultam do controle, da disponibilidade de pasto e da carga animal (PILLAR *et al.*, 2009; NABINGER; PINTO; BOLDRINI, 2013). A partir da adubação (M4 e M5) e introdução de espécies de ciclo invernal (M6), como azevém, trevos e capim lanudo, diretamente sobre o campo, tem-se técnicas de melhoramento de PN, transformando assim o campo natural em uma **Pastagem Nativa Melhorada (PM)** (BRANDENBURG, 2004; CÓRDOVA *et al.*, 2004; NABINGER; CARVALHO, 2009).

Nas últimas décadas, devido ao aumento na demanda de recursos naturais, alimentos e à rentabilidade pecuária, as PN, PM e os solos dos sistemas produtivos tem sofrido transformações na fisionomia e na estrutura respectivamente (CÓRDOVA *et al.*, 2004; PILLAR *et al.*, 2009), isto atribuído à introdução de espécies exóticas e o avanço de extensas monoculturas, manejo da terra e a conversão para pastagens cultivadas (CARVALHO; BATELLO, 2009). Estas mudanças trazem como consequências a fragmentação da paisagem, perda de biodiversidade, aumento na emissão de gases de efeito estufa, incremento de plantas invasoras, erosão do solo, poluição das águas e degradação do solo (NABINGER; PINTO; BOLDRINI, 2013).

2.2 INFLUÊNCIA DO MANEJO DA PASTAGEM SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

O solo é um sistema aberto, dinâmico e trifásico constituído pelas fases sólida, líquida e gasosa. Um solo bem equilibrado é formado pela fase sólida que representa 50% do solo e pelas fases gasosa e líquida as quais ocupam aproximadamente os outros 50%. A fase sólida é constituída pelas partículas minerais (45%) e a matéria orgânica (5%). A fase gasosa refere-se à porosidade total, subdividida em microporos (33%) e macroporos (17%) (KIEHL, 1979; KLEIN, 2008; BATISTA *et al*, 2018). Este equilíbrio ou proporções entre as fases do solo pode ser afetado pelas práticas de preparo do solo, manejo das culturas forrageiras, absorção de íons pelas raízes das plantas, entrada de água e matéria orgânica, variações na temperatura, pressão, luz, atividade dos micro-organismos, entre outros.

A fase sólida do solo está constituída por partículas minerais e orgânicas de diferentes formas e tamanhos, as quais provêm, de forma geral, da desintegração das rochas e da decomposição dos resíduos vegetais. A forma espacial em que se encontram as partículas sólidas do solo determinam em grande parte as propriedades físicas do solo, como a estrutura, porosidade, densidade, capacidade de troca de água e permeabilidade (KLEIN, 2008). A granulometria é definida como o estudo da proporção relativa das distintas partículas minerais individuais, menores a 2 mm de diâmetro, agrupadas por classes de tamanhos, em frações granulométricas ou proporções relativas de areia, silte e argila. As partículas de diâmetro equivalente maior de 2 mm estão constituídas por fragmentos de rochas ou agregados dos solos. A quantidade e qualidade das partículas de silte e argila determina o nível de proteção física e química dos componentes orgânicos e minerais nos solos (SIX *et al.*, 2002; VON LUTZOW *et al.*, 2006; COTRUFO *et al.*, 2013). Assim temos que solos com textura mais fina, ou seja, com teores maiores de argila, geralmente, possuem maior teor de carbono (CHIVENGE *et al.*, 2011), baseado em que a matéria orgânica se associa às partículas de argila e contribui para a formação de complexos organo-minerais estáveis (SIX *et al.*, 2002). Em contrapartida, solos com maior fração de areia tendem a ter menor acúmulo de carbono, em função da menor proteção física e química da matéria orgânica (PUTASSO, 2011; DLAMINI *et al.*, 2016).

A densidade e a porosidade do solo são atributos ligados à estrutura do solo, sendo inversamente proporcionais entre si. Estes atributos estão diretamente relacionados com propriedades hídricas e físicas do solo, como a retenção de água no solo e disponibilidade de água para as plantas (KLEIN, 2002, 2008). A densidade do solo é calculada pela relação existente entre a massa do solo e o volume que este ocupa. O limite máximo tolerado da densidade dos solos varia segundo o tipo de solo, mas acima deste valor específico para cada um os solos são considerados compactos, apresentando sérias desvantagens quanto à permeabilidade e a aeração (ARCHER; SMITH, 1972).

A conversão de ecossistemas naturais, como as pastagens naturais, em pastagens cultivadas, pode resultar em uma série de alterações nas propriedades do solo, com impactos positivos ou negativos sobre ele. Como exemplo de impactos positivos tem-se a melhoria na estrutura do solo e como negativo tem-se a compactação do solo e conseqüentemente a aceleração da sua degradação. A compactação do solo é considerada como uma das principais causas de degradação de pastagens (GREENWOOD; MACLEOD; HUTCHINSON, 1997; GREENWOOD; MCKENZIE, 2001; EVEN DILEK; CELIK; KILIC, 2004).

As atividades que afetam as propriedades do solo na implantação das pastagens são o preparo do solo, a intensidade de revolvimento, o trânsito de máquinas e os tipos de equipamentos agrícolas utilizados, somado às condições do solo no momento do preparo. Um solo muito úmido é mais sensível a variações estruturais exercidas por forças externas a ele (GREENWOOD; MCKENZIE, 2001; BORTOLINI *et al.*, 2016). Dentre os fatores que influenciam a estrutura do solo das pastagens, podemos citar as condições climáticas, quantidade de resíduos vegetais aportados, a altura ideal de pastejo, a intensidade e tempo de pastejo e a espécie, categoria e carga animal (BORTOLINI *et al.*, 2016; BERON GARAY; ALVAREZ, 2019). O pisoteio animal apresenta grande influência sobre a estrutura do solo. Esta situação é agravada quando o solo está com umidade favorável à deformação plástica (TABOADA *et al.*, 2011; GLÉRIA *et al.*, 2017).

O tráfego de máquinas e pisoteio animal podem promover a compactação do solo em diferentes camadas. As forças exercidas por pneus agrícolas podem alterar camadas

mais profundas no perfil do solo, já que a profundidade de ação dessa pressão é diretamente proporcional a seu peso e à área de contato com o solo e inversamente proporcional à resistência do solo (RAPER, 2005). Já o pisoteio dos animais promove a compactação na superfície do solo, até uns 10 cm de profundidade (GREENWOOD; MCKENZIE, 2001; EVEN DILEK; CELIK; KILIC, 2004; DE AZEVEDO, 2021). O tempo de emprego de maquinaria agrícola é pontual e reduzido, em comparação ao pisoteio animal, quando o pastejo é contínuo ou a carga animal é elevada. Cabe ressaltar que, quando a carga animal e as pastagens são manejadas adequadamente, as alterações nos atributos físicos são pequenas, sem causar danos às culturas ou degradar o solo (GREENWOOD; MCKENZIE, 2001; CONTE, *et al.*, 2012).

As alterações negativas nos atributos físicos do solo resultantes do pisoteio animal reduzem o desempenho produtivo das culturas (LOPES *et al.*, 2009; BERON GARAY; ALVAREZ, 2019). Isso pode ser atribuído, principalmente, aos impactos sobre a estrutura física do solo, que podem ser revertidos por processos naturais que ocorrem no solo, mecanismos abióticos (por exemplo, ciclos de umedecimento e de secagem) ou bióticos (por exemplo, raízes e atividade de minhocas) (TABOADA, *et al.*, 2011; CONTE, *et al.*, 2012). A regeneração natural dos danos estruturais causados pelo pisoteio do gado podem levar anos em climas secos, mas tem respostas mais rápidas em climas temperados, devido aos ciclos de congelamento e descongelamento, umedecimento e secagem, somado ao rápido crescimento radicular (TABOADA *et al.*, 2011).

Outros fatores importantes do manejo das pastagens que influenciam positivamente a estrutura do solo são a diversificação de sistemas radiculares, típico de pastagens naturais e dos consórcios, e o pastejo adequado. O pastejo adequado estimula o crescimento radicular das plantas, propiciando o aumento da porosidade do solo e a diversidade biológica, o que resulta em aumento de canais para a circulação de nutrientes e água, diminuindo o escoamento superficial (HAMBLIN, 1985; OSA; SANO; ROSENDO, 2014; DE AZEDO, 2021). Em contraposição está o mal manejo das pastagens observado quando ocorre a excessiva desfolha das plantas. O pastejo excessivo diminui a cobertura do solo e, portanto, promove o aumento da temperatura da camada superficial e as taxas

de evaporação, modificando as características do solo e aumentando as possibilidades de ocorrência de erosão do solo (TABOADA, *et al.*, 2011; WATERS *et al.*, 2017).

2.3 MATÉRIA ORGÂNICA E ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO

O carbono está presente em diferentes formas e lugares na terra. Os quatro principais reservatórios de carbono classificados segundo a suas quantidades estão descritos a seguir em ordem decrescente. Em primeiro lugar os oceanos, com 38.000 PG C (1 PG = 10^{15} g); logo após as formações geológicas (5.000 PG C), subdividido em 4.000 PG C presentes no carvão, 500 PG C no petróleo e 500 PG C no gás natural. Em terceiro lugar temos o carbono no solo (2.500 PG C) presente na matéria orgânica, com 1.500 PG C e carbono mineral com 1.000 PG C. O solo representa o maior reservatório de carbono nos ecossistemas superficiais, sendo que nos seus 30 cm superficiais o solo estoca 800 PG de carbono (CERRI *et al.*, 2006), quantidade superior ao último armazenamento de C na terra, sendo este a atmosfera PG C (LAL *et al.*, 2004). Desse modo, o solo é uma alternativa para o sequestro do C presente na atmosfera, constituindo um foco importante nas estratégias para mitigar as emissões de GEE, e reduzir os efeitos das mudanças climáticas globais (IPCC, 2001).

Nos sistemas naturais e agroecossistemas, o estoque de carbono no solo é obtido pela relação existente entre o ganho de carbono pelo processo de humificação, fotossíntese-rizodeposição, agregação e sedimentação em relação à saída pela erosão, lixiviação, decomposição e emissão (LAL *et al.*, 1997; LAL; BRUCE, 1999; MITRA; WASSMANN; VLEK, 2005).

A humificação está definida como o processo de decomposição de plantas, animais e dejetos orgânicos como esterco e urina, representa um papel importante na entrada do carbono no solo e no incremento do estoque de carbono no solo e constitui um sistema, onde o carbono é assimilado como tecido microbiano, sendo que parte é convertida em húmus estável na biomassa do solo, e parte é associado aos minerais (STEVENSON, 1994). Outra via importante de adição de carbono ao solo é através das raízes das plantas, mediante o processo de rizodeposição. Neste processo, as raízes liberam compostos carbonados e descamam suas células epidérmicas e corticais (JONES *et al.*, 2004; BERON GARAY; ALVAREZ, 2019), permitindo que o C seja

incorporado diretamente no solo, promovendo elevado grau de estabilização (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). O processo de rizodeposição em conjunto com a atividade de minhocas, cupins, larvas, colêmbolos e outros organismos presentes no solo são considerados os principais fatores responsáveis pelo sequestro de carbono em solos de pastagem (JONES; DONNELLY, 2004). A sedimentação é o acúmulo dos materiais gerados pela erosão e estes são denominados sedimentos. Os sedimentos se classificam em alóctones e autóctones, os primeiros são transportados e depositados em outros lugares diferentes a seu local de origem, a diferencia dos autóctones que são sedimentos originados do próprio local (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

Depois da introdução do carbono como matéria orgânica no solo, uma parte significativa deste fica estável sob a proteção física dos agregados do solo (STEFFENS *et al.*, 2008). No solo existem diversas partículas minerais que ao ligarem à matéria orgânica, por intermédio das interações da atividade microbiana e exsudatos de raízes, formam pequenas estruturas estáveis ao impacto da gota de chuva, estas estruturas são denominadas agregados do solo (LAL *et al.*, 1997). Os agregados do solo além de serem os principais encarregados de resguardar a matéria orgânica da oxidação microbiana, mantêm a estrutura do solo permitindo o fluxo de nutrientes, água e ar nele. Por tanto a agregação do solo tem um papel importante no sequestro de carbono do solo (JONES; DONNELLY, 2004).

A perda ou saída do carbono no solo sob sistemas de pastejo está dada pela erosão, lixiviação, decomposição e volatilização. A erosão do solo na atividade agropecuária está relacionada ao cultivo excessivo do solo, sem adição de nutrientes, ao manejo inadequado de resíduos vegetais e a adoção de métodos de preparo com maior revolvimento do solo (BERTOL *et al.*, 2003). A lixiviação nos sistemas de pastagens surge a partir do movimento do carbono solúvel no solo pelo efeito da água, que causa erosão ou que infiltra no lençol freático (ALMEIDA *et al.*, 2020). A saída à atmosfera do carbono no solo está dada pela decomposição da matéria orgânica em fluxos de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), gerado pela atividade microbiana. Este fluxo é afetado diretamente pela temperatura e conteúdo de água no solo (LAL; BRUCE, 1999; MITRA; WASSMANN; VLEK, 2005).

2.4 IMPORTÂNCIA DO ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO

Nos ecossistemas, em específico nos agroecossistemas, para falar de sustentabilidade é necessário estudar e analisar o solo como um sistema dinâmico que surge das interações dos componentes físicos, químicos e biológicos (KARLEN *et al.*, 1997; WHITE, 2009), focado na capacidade do solo de aceitar, estocar e reciclar água, carbono, nutrientes e energia (CARTER, 2001). O solo por si só não vai atingir nenhum parâmetro de qualidade, e sim o sistema solo-organismos-planta-atmosfera, integrados e adaptados ao seu local e ambiente (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; MIELNICZUK, 2008).

A matéria orgânica do solo (MOS) possui um papel importante para diversos processos físicos, químicos e biológicos no solo que afetam a produção agrícola e o ambiente. A matéria orgânica sustenta a produtividade biológica e mantém ou melhora a qualidade ambiental o que contribui na saúde das plantas, dos animais e humana (DORAN; PARKIN, 1994), isto ocorre devido a contribuição da MOS na ciclagem e retenção de nutrientes e carbono, agregação do solo, retenção da água no solo além dela ser fonte básica de energia para a atividade biológica (ROSCOE *et al.*, 2006). Em geral, a quantidade de MOS num solo sem interferência antrópica, como as pastagens naturais, evidencia um sistema estabilizado quanto aos fluxos de entrada e saída de energia e matéria. Em contrapartida, o manejo inadequado e intensivo pode reduzir a quantidade de MOS, especialmente quando são utilizados sistemas de preparo de solo com revolvimento e sistemas de cultivos com mínimo aporte de resíduos vegetais (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A manutenção dos teores de MOS depende do balanço de carbono no solo, que é representado pelas entradas e saídas de carbono do solo para a atmosfera. Fatores naturais e antropogênicos influenciam sobre o balanço de Carbono. Como fatores naturais tem-se como exemplos as condições climáticas e os tipos de solo. Como fatores antropogênicos pode-se citar o método de preparo do solo, (ELLERBROCK *et al.*, 2001) o número de cultivos e das espécies adotadas (BAYER *et al.*, 2011), assim como a aplicação de adubos e o método do manejo dos restos culturais, atividades desenvolvidas principalmente na agropecuária (LAL; BRUCE, 1999). Neste ponto é importante definir

os principais sistemas de manejo na agropecuária e o que basicamente os diferencia, são a forma do preparo do solo. Temos o sistema de preparo convencional onde o solo é revolvido com diversas máquinas, onde incorpora-se a vegetação e inverte-se camadas de solo, deixando o solo da área exposta. O preparo convencional aumenta a degradação do solo, pois ocasiona a perda de MOS, diminui a estabilidade estrutural, a população, a atividade de micro-organismos, e a resiliência do solo com o passar do tempo (KAY; MUNKHOLM, 2004). Em contrapartida, temos o sistema de plantio direto, onde o preparo e manipulação do solo é mínimo, o que representa uma evolução nos processos agrícolas, principalmente no aspecto ambiental. O manejo é baseado na manutenção da cobertura do solo, no mínimo revolvimento e na rotação de culturas. O plantio direto mantém ou diminui a taxa de decomposição microbiana na MOS, mantendo conjuntamente a temperatura e aeração, somados ao não fracionamento e a incorporação dos resíduos vegetais, o que resulta em incremento da MOS e por consequência no estoque de carbono (POTES *et al.*, 2010). Desta forma, o manejo do solo tem influência sobre o carbono do solo, tendo implicações de forma positiva na retenção de C-CO₂ atmosférico ou negativamente na emissão de carbono em forma de CO₂ ou CH₄ (LAL, 1997).

Os sistemas naturais modificados pela ação humana dão origem a áreas alteradas, podendo ter sua capacidade produtiva melhorada, conservada ou diminuída a médio e longo prazo (SILVA *et al.*, 2011). A atividade agropecuária bem planejada e desenvolvida, empregando práticas baseadas no mínimo revolvimento do solo, com fertilização e/ou adubação adequada, com uma boa escolha e rotação de culturas com alto aporte e diversidade de resíduos, utilização de culturas de cobertura na entressafra, e com o estímulo ao crescimento radicular, pode contribuir com o incremento de carbono em solos agrícolas (VEZZANI *et al.*, 2008). De forma contrária, o uso de métodos de preparo com intenso revolvimento do solo, manejo com inclusão de queimas e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos vegetais tendem a reduzir acentuadamente esse conteúdo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A preocupação mundial sobre as alterações climáticas aumentou o interesse na matéria orgânica do solo e no seu papel no ciclo global de C e no sequestro de C

atmosférico no solo (DORAN, 1998; VIGLIZZO *et al.*, 2019). Devido que as quantidades de C que o solo armazena, é um dos condicionantes de processos de emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, sabendo que a variação no estoque de C regula os teores desse elemento emitidos para a atmosfera (RANGEL; SILVA, 2007; VIGLIZZO *et al.*, 2019).

2.5 INFLUÊNCIA DO MANEJO DA PASTAGEM SOBRE O ESTOQUE DE CARBONO

Entre as ações antrópicas que aumentam, mantêm ou diminuem o estoque do carbono no solo está a atividade agropecuária. A FAO (2006) cita que o bom manejo de pastagens é uma das mais importantes tecnologias agrícolas disponíveis para a mitigação das mudanças climáticas globais. Nesta atividade as principais práticas agrícolas que impactam o estoque de C no solo são o preparo do solo, o sistema de cultivo (BAYER *et al.*, 2011) e o sistema de pastejo (CONANT *et al.*, 2017; LIN *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020).

Em solos sob vegetação natural ou pastagens nativas, solos não perturbados, há um equilíbrio no fluxo de carbono no sistema (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; ORGILL *et al.*, 2018;). Neste ambiente, o conteúdo de carbono do solo encontra-se estável. O uso agrícola altera esse conteúdo, pois interfere nas entradas e saídas de C do sistema solo-planta-atmosfera. As entradas de carbono no solo neste tipo de sistema ocorrem através da adição de fezes do animal, pela biomassa aérea e das raízes das plantas (ORGILL *et al.*, 2018), em contrapartida, as perdas ocorrem basicamente por decomposição microbiana e lixiviação (BAYER; MIELNICZUK, 2008; CONANT *et al.*, 2017).

Os sistemas cultivados que mantêm a estrutura ou ocasionam mínima mobilização do solo, como o caso do plantio direto, pastagens perenes e melhoradas, podem manter ou intensificar a estabilização do carbono no solo. Isto devido à permanência dos resíduos culturais na superfície do solo que contribui com o acúmulo de C orgânico, através da proteção física da matéria orgânica nos agregados do solo (BAYER *et al.*, 2000; BERON GARAY; ALVAREZ, 2019). Pastagens melhoradas e perenes consorciadas bem manejadas, frequentemente com a utilização de fertilizantes ou inserção de leguminosas, com bons níveis de produtividade e estáveis durante todo o ano, possuem estoques de carbono igual ou até maiores do que os apresentados pelas

diferentes fitofisionomias naturais (SILVA *et al.*, 2004; ROSENDO, 2012). Isto ocorre devido a um maior acúmulo de biomassa vegetal e a presença de dejetos animais que favorecem o aumento da matéria orgânica em pastagens do que na vegetação nativa (DE AZEVEDO, 2021). Outro ponto importante nas pastagens cultivadas é a diferença fisiológica e composição das pastagens as plantas C₄ quando pastejadas apresentam maior potencial em estocar carbono no solo que as plantas C₃, em virtude da maior relação raiz/parte aérea e liberação de exsudatos radiculares no solo (MCSHERRY; RITCHIE, 2013; ABDALLA *et al.*, 2018; WILSON *et al.*, 2018).

Por outro lado, a intensa movimentação do solo realizada no sistema convencional de preparo, como o caso de algumas pastagens anuais, tem como consequências o rompimento dos agregados, o aumento da temperatura e evapotranspiração do solo, diminuição do teor de umidade e da concentração de oxigênio no solo, promovendo a rápida degradação dos resíduos orgânicos adicionados, o que pode acelerar a oxidação da matéria orgânica e aumentar as emissões de CO₂, ocasionando distúrbios na distribuição do carbono no perfil, perdas significativas do estoque de carbono (BABUJIA *et al.*, 2010; SÁ *et al.*, 2013, 2017; PIÑEIRO *et al.*, 2015).

A perda de carbono ocorre porque o carbono que estava protegido pelos agregados, fica exposto a maiores quantidades de oxigênio e a temperaturas maiores, fatores que aceleram a atividade dos micro-organismos decompositores, principalmente após o preparo do solo (BEARE *et al.*, 1994). O preparo deixa o solo desprotegido, favorecendo o processo de erosão, ocasionando perdas de solo e de carbono (BERTOL *et al.*, 2003; OLSON *et al.*, 2016).

Para os diversos sistemas de pastagens destaca-se na variação do estoque de carbono no solo o manejo adequado da altura de pastejo, qualidade da matéria orgânica aportada, o sistema radicular das espécies, a rotação de culturas e o clima (STEWART *et al.*, 2007; COTRUFO *et al.*, 2013).

O manejo adequado da altura de pastejo propicia a liberação contínua de exsudatos radiculares assim como de substratos orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição e o crescimento radicular das plantas promovendo maior aporte de carbono ao solo (PIÑEIRO *et al.*, 2010; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014;

CONANT *et al.*, 2017). No entanto, qualquer sistema de pastagens, se sofrer excessiva desfolha no pastejo (superpastejo) pode ver reduzido o aporte de matéria orgânica e biomassa nos solos (AGUIAR *et al.*, 2006; ABDALLA *et al.*, 2018; LIN *et al.*, 2020). Isto devido à redução da área foliar e do sistema radicular da planta, o que a sua vez reduz capacidade fotossintética, limitando a absorção de nutrientes e liberação de exsudatos radiculares no solo (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; WILSON *et al.*, 2018). Tendo efeito adverso sobre a física do solo, gerando alterações no sistema poroso o que desfavorece o estoque de carbono (GLÉRIA *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2020). A magnitude de impacto do mau manejo das pastagens por superpastejo é maior nos solos mais férteis devido às maiores perdas de N associadas ao pastejo (PIÑEIRO *et al.*, 2010; ORGILL *et al.*, 2018).

Também é importante conhecer os parâmetros que definem a qualidade do C aportado pelos resíduos culturais, estes parâmetros são o teor de N (relação C/N), a fração solúvel e as concentrações de amido (celulose, hemicelulose e lignina), gorduras (lipídios) e compostos secundários (polifenóis), sendo que resíduos com alto teor de N e ricos em fração solúvel são classificados como de alta qualidade (alta fração lábil), estes tipos de resíduos aportam matéria orgânica de qualidade ao solo sendo benéficos no estoque de carbono (PRESCOTT, 2010; CONANT *et al.*, 2017) em contrapartida os resíduos com menor relação C/N e menores concentrações de compostos, como lignina e taninos, são propensos a uma decomposição mais rápida, já resíduos com elevada relação C/N e altas concentrações de compostos resistentes tendem a ter uma taxa de decomposição mais lenta, com baixa liberação de N mineral (POTTHAST *et al.*, 2010; PAUTASSO *et al.*, 2011; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014).

O sistema radicular das pastagens normalmente apresenta uma conversão maior do carbono adicionado em carbono da MOS em comparação à biomassa da parte aérea, em média 21% do carbono adicionado pelas raízes passa a ser incorporado à matéria orgânica do solo, enquanto a conversão do carbono da biomassa aérea para a MOS é em média de 12% (BAYER *et al.*, 2011). Isto é atribuído a maior conversão do C das raízes, à sua localização no interior dos agregados de solo e talvez ao maior teor de lignina em comparação com a biomassa aérea. Os processos na rizosfera, como renovação da raiz, rizodeposição, respiração da raiz e resposta microbiana podem levar

a variações no nível do carbono no solo. As raízes afetam a decomposição da matéria orgânica no solo, por meio da diminuição da disponibilidade de nutrientes para microorganismos devido à absorção pelas plantas, mudança do ambiente físico na rizosfera, aumento do suprimento de substrato orgânico (CHENG; KUZYAKOV, 2005). No sul do Brasil foi observado maior estoque de carbono no solo (Latossolo Vermelho) em sistemas onde o cultivo foi mais intenso usando rotação com cinco culturas com sistemas radiculares heterogêneo em relação a cultivos menos intensos com rotação de duas e três culturas (CAMPOS *et al.*, 2011).

Para finalizar, como foi citado anteriormente, entre as atividades antropogênicas que podem aumentar o estoque de carbono no solo dos agroecossistemas, estão o emprego de práticas baseadas no mínimo revolvimento do solo, fertilização e/ou adubação adequada, boa escolha e rotação de culturas com alto aporte e diversidade de resíduos. Em contraposição temos, as atividades que podem diminuir o conteúdo de carbono no solo, sendo estas o uso de métodos de preparo com intenso revolvimento do solo, manejo com inclusão de queimas, sistemas de cultura com baixa adição de resíduos vegetais, por último manejo inadequado de fertilizantes, altura de pastejo e carga animal.

2.6 RELAÇÃO pH E CLIMA COM O ESTOQUE DE CARBONO

Outros fatores que modelam o estoque de carbono no solo são o pH e o clima, expresso pela temperatura e precipitação, que influenciam sobre os processos e metabolismos da microbiota do sistema (DLAMINI *et al.*, 2016). A microbiota do solo atua na decomposição da serapilheira e por tanto, no ganho ou perda de C orgânico do solo. A ciclagem de C e nutrientes como resultado da respiração de microbiana é um atributo biológico muito sensível às alterações ocorridas no ambiente (CONANT *et al.*, 2017). O potencial de hidrogênio (pH) influencia no crescimento e atividade microbiana, solos com pH corrigidos ou neutros propiciam o ótimo desenvolvimento microbiano, a diferença de solos ácidos e alcalinos (CARDOSO; TSAI; NEVES; 1992 LUPATINI *et al.*, 2019). A temperatura afeta significativamente a atividade microbiana, com temperaturas elevadas a respiração microbiana tende a aumentar, degradando a matéria orgânica no solo e gerando CO₂. Em contrapartida temperaturas amenas e baixas estabilizam e reduzem a atividade microbiana propiciando a conservação do carbono e o estoque de carbono no

solo (LAL; BRUCE, 1999; MITRA; WASSMANN; VLEK, 2005; SÁ *et al.*, 2017; LUPATINI, *et al.*, 2019). A atividade microbiana aumenta com a umidade do solo, devido a condição redutora que ocorre no solo. Aumento nas emissões de CH₄ e CO₂ do solo são observadas recorrentemente após os eventos de chuvas (IPCC, 2001). As regiões dos Campos de Cima da Serra no sul do Brasil, com altitudes maiores a os 900 m sobre o nível do mar, apresentam alta capacidade de acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS), o que se transforma em estoques de carbono elevados, como resultado da alta precipitação e baixa temperatura, neste ambiente de altitude (STRECK *et al.*, 2002; SILVA, DICK; INDA, 2008; KLUG, 2014).

2.7 RELAÇÃO TEMPO DE MANEJO COM O ESTOQUE DE CARBONO

Os efeitos positivos (aumento) ou negativos (diminuição) dos diversos manejos do solo e das pastagens sobre o estoque de carbono no solo manifestam-se e intensificam-se ao transcorrer do tempo (CONANT, *et al.*, 2017). O processo de variação do armazenamento de este elemento no solo é lento, devido à estabilidade que este se encontra, o tempo de residência do C abaixo do solo é longo (até 1000 anos) em ecossistemas de pastagens (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). Soussana e Lemaire, (2014) e Conant *et al.*, (2017) além de concluir que existe uma correlação entre o tempo de manejo e os efeitos que estes têm sobre o estoque de carbono, enfatiza que as maiorias das variações de carbono ou efeitos do manejo sobre o carbono no solo são evidenciados na camada mais superficial de este.

Estudos demonstram que os efeitos significativos do manejo das pastagens sobre o estoque de carbono no solo são observados ao longo prazo; Cardoso *et al.*, (2016) avaliaram o impacto da conversão do campo nativo em pastagens cultivadas sobre o estoque de carbono no solo, pós 3 e 19 anos de manejo, mas só foi observada diferença significativa nas pastagens cultivadas com maior tempo de implantação; Conde *et al.*, (2011) avaliaram mudanças no estoque de C sobre um Argissolo de pastagens perenes com 2, 9 e 18 anos após implantação tendo como referência o campo nativo, sem encontrar diferença significativa; Franzluebbbers e Tiedemann (2009) não encontraram diferença estatística num experimento de longa duração (12 anos), associando tais resultados à variabilidade dos dados e ao efeito remanescente do manejo histórico de

áreas avaliadas; e por último, Veloso *et al.* (2018) encontraram diferença significativa no estoque de carbono no solo em todos os sistemas avaliados após de 30 anos de condução de experimento de sistemas agrícolas instaladas com plantio convencional e direto.

Pelo ante exposto diversos autores concordam em que devido à dinâmica lenta do carbono no solo é necessária uma perspectiva de longo prazo, para avaliar as consequências dos manejos das pastagens sobre o estoque de carbono no solo (BURKE *et al.*, 1989; PIÑEIRO *et al.*, 2010; TABOADA *et al.*, 2011; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; CONANT *et al.*, 2017).

3 HIPÓTESES

3.1 GERAL

Sistemas de pastagens perenes e naturais melhoradas têm maior capacidade de estocar carbono no solo em comparação às pastagens naturais e anuais.

3.2 ESPECÍFICAS

- Sistemas de pastagens que conservam a estrutura do solo apresentam menor densidade de solo na camada superficial.
- Após 5 anos de manejo há redução no teor de carbono no solo em pastagem anual.
- Os efeitos do manejo das pastagens a curto prazo são observados nas camadas mais superficiais do solo.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAL

Verificar se existe influência de sistemas de produção animal em pastagens sobre o estoque de carbono e a densidade e porosidade do solo após 5 anos de manejo.

4.2 ESPECÍFICOS

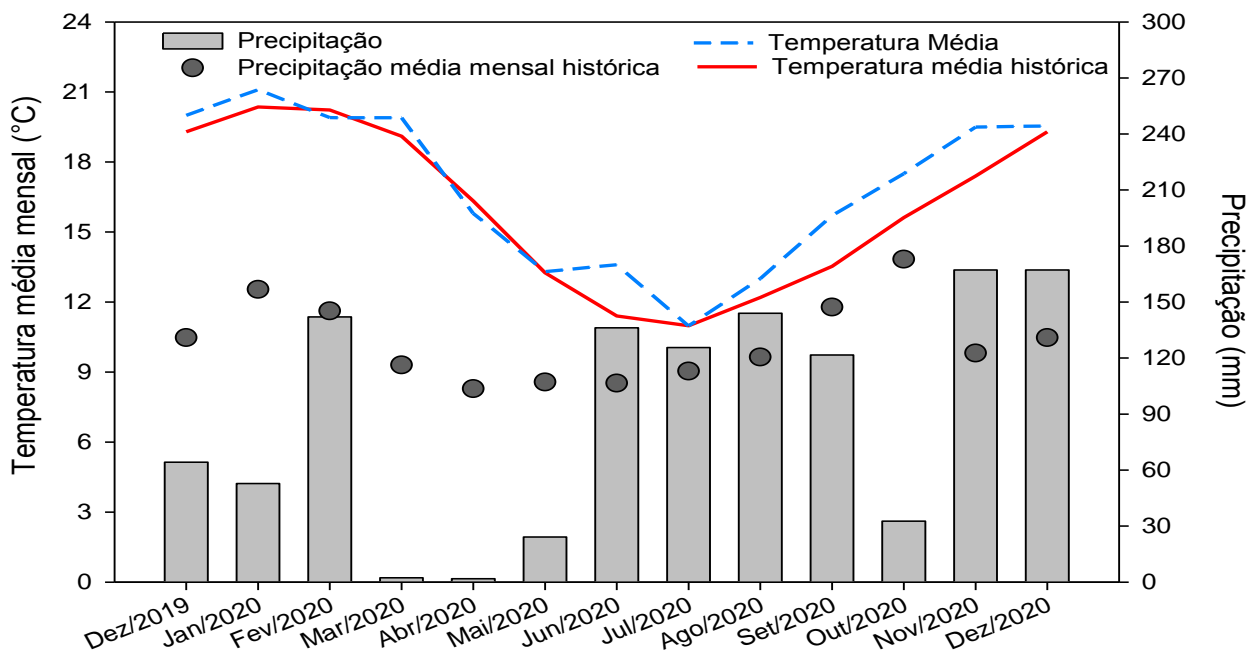
- Avaliar o efeito do manejo das pastagens sobre a densidade e porosidade do solo.
- Avaliar a influência do manejo das pastagens sobre estoque de carbono no solo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

O estudo foi desenvolvido na EPAGRI/Estação Experimental de Lages (Figura 2), localizada no município de Lages, SC, Brasil (50.18°W, 27.47°S; 920m de altitude). O clima da região é mesotérmico úmido (Cfb) segundo classificação de Köppen, com invernos rigorosos, verões amenos e chuvas bem distribuídas ao longo do ano. O solo da área experimental é classificado como um Cambissolo (EMBRAPA, 2013).

Figura 1 - Temperatura e precipitação do último ano período experimental e médias históricas dos últimos 58 anos, referentes à Estação Experimental de Lages (Epagri/Ciram).



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

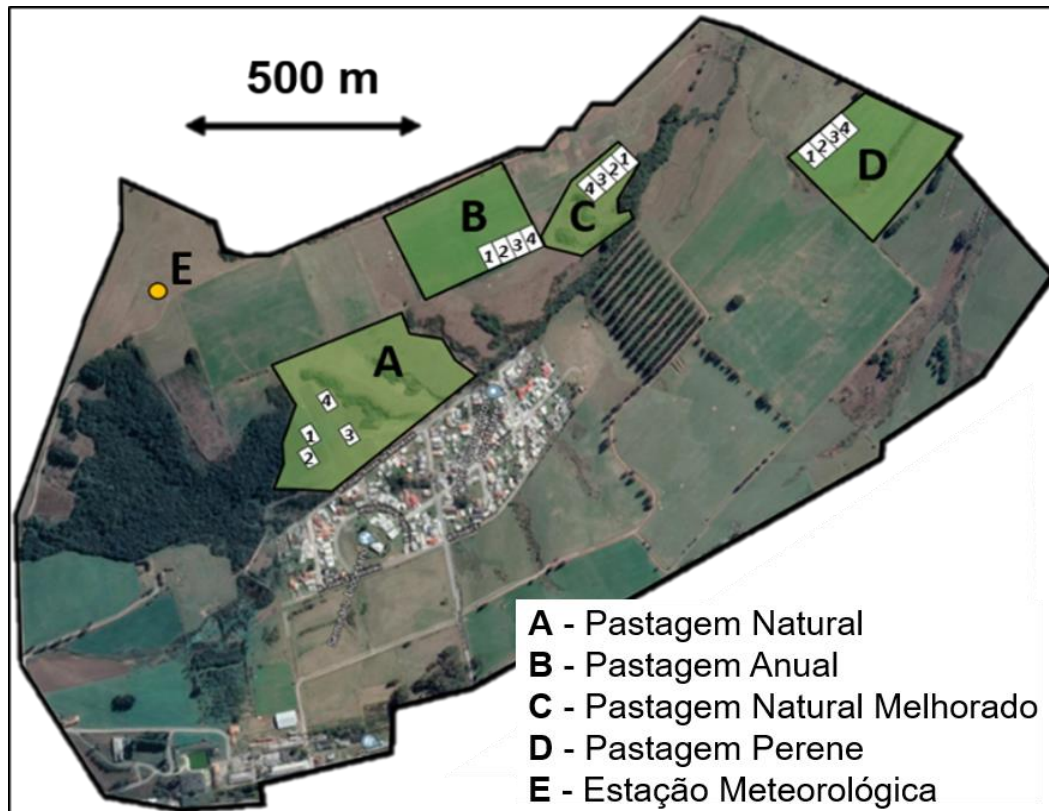
5.2 NÍVEIS DE MANEJO DAS PASTAGENS

Os níveis de manejo foram caracterizados por quatro sistemas de produção de pastagem, sendo estes (Figura 2):

- Pastagem Natural (PN): pastagem composta por 23 espécies forrageiras com predomínio de *Andropogon lateralis* Nees (capim-caninha), sem histórico nos últimos 30 anos de introdução de espécies, adubação e queimadas. O protocolo experimental de manejo da pastagem natural iniciou em 2015, em um delineamento de blocos ao acaso com quatro tratamentos, sendo estes as alturas de manejo de entrada para pastejo, com quatro repetições cada. Neste trabalho avaliou-se o tratamento com altura de manejo de 20 cm. PN está localizada a uma altitude média de 933 m.
- Campo Natural Melhorado (PM): PN com introdução de espécies de ciclo estival no outono como *Trifolium repens* (trevo-branco), *Trifolium pratense* L. (trevo vermelho), *Lolium multiflorum* (azevém camaro), *Dactylis glomerata* L. (datiles), *Lotus corniculatus* L. (cornichão) e *Holcus lanatus* L. (capim lanudo), totalizando 35 espécies forrageiras. Com realização de calagem para atingir saturação de base de 70% na formação do sistema; 2015. O sistema apresenta histórico de sobre semeadura a partir das espécies forrageiras citadas acima e fertilização com adubo NPK (9-32-12; 200 kg/ha) na sobre semeadura durante o outono. O manejo de adubação apresentou aplicação de ureia (400 kg/ha) no perfilhamento do azevém no inverno e adubação no verão (9-32-12; 300 kg/ha). A fertilização e sobre semeadura é realizada anualmente desde 2015. PM encontrasse em média a 913 m de altitude;
- Pastagem Perene (PP), composta principalmente por *Cynodon dactylon* cv Jiggs e em segunda ordem *Trifolium repens* (trevo-branco), com sucessão de *Lolium multiflorum* (azevém) durante o inverno. Pastagem foi implantada com sistema convencional de preparo de solo em 2015. Com realização de calagem para atingir saturação de base de 70% na formação do sistema. O manejo de adubação procedeu com aplicação de adubo da fórmula NPK (9-32-12; 300 kg/ha) e uréia (400 kg/ha) no verão e com NPK (9-32-12; 200 kg/ha) e ureia (400 kg/ha) no perfilhamento do azevém no inverno. A área possui 7.200 m² dividida em 4 repetições de 1.800 m² cada. PP encontrasse em média a 903 m de altitude;
- Pastagem Anual (PA), Pastagem anual de inverno/verão, com sistema convencional de preparo de solo para semeadura de *Pennisetum glaucum*

(Milheto) no verão e de *Lolium multiflorum* (azevém) no inverno. Com realização de calagem para atingir saturação de base de 70% na formação do sistema. O manejo de adubação adubo fórmula NPK (9-32-12; 200 kg/ha) na semeadura e aplicação de ureia (400 kg/ha) em cobertura no perfilhamento das culturas desde 2015. A área possui 7.200 m² dividida em 4 repetições de 1.800 m² cada. PA encontrasse em média 923 m de altitude.

Figura 2 - Distribuição dos sistemas de pastejo; A - Pastagem Natural, B - Pastagem Anual, C - Pastagem Natural Melhorado e D - Pastagem Perene.



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Na Tabela 2 estão apresentados os atributos químicos dos solos avaliados a uma profundidade de 10 cm de profundidade, (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004). O critério adotado no estabelecimento da data de amostragem do solo foi o efeito da adubação nitrogenada nas pastagens. Para isto, considerou-se 30 dias após a adubação nitrogenada realizada dos sistemas, a qual ocorreu no dia 16 de dezembro de 2019 e 16 de junho de 2020. Assim, as coletas de solo para sua posterior análise no

laboratório foram realizadas nos dias 17 de janeiro de 2020 e 27 de julho de 2020, para verão e inverno respectivamente.

Tabela 2 - Atributos químicos do solo sob os sistemas avaliados; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA).

Atributos	Sistemas			
	PN	PM	PP	PA
pH-H ₂ O _(1:1)	5,29	6,20	6,13	6,16
H+Al	11,39	2,72	2,58	3,16
Saturação por bases (%)	14,76	85,30	83,12	81,53
CaMg	0,68	1,34	1,67	1,49
P Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	10,21	18,08	16,22	15,62
K Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	0,33	0,38	0,31	0,31
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,66	9,01	7,85	8,13
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,92	6,80	4,77	5,64
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,42	0,00	0,00	0,00
CTC (cmol _c dm ⁻³)	3,33	16,18	12,93	14,08

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

5.3 AVALIAÇÃO NOS SISTEMAS FORRAGEIROS

O método de pastejo utilizado foi o de lotação intermitente, conforme utilizado por Zanella (2021), com altura de pastejo adequada para cada sistema; no verão foi de 20 cm para PN, PP, PM e 50 cm para PA, no inverno foi de 20 cm para PN, PP, PA e 15 cm para PM. Na PN os pontos de medição foram tomados no capim-caninha. Para o estudo foram utilizadas vacas da raça Flamenga (Rouge Flamande), com peso médio de 600 ± 100 kg. A carga animal foi ajustada para atingir a meta de rebaixamento entre seis a sete dias de ocupação, controlando a entrada dos animais e os dias de pastejo.

5.3.1 Altura do dossel forrageiro

A altura do dossel forrageiro foi monitorada, com uso de bastão graduado do tipo sward stick, (ARRUDA *et al.*, 2011) em caminho sistemático e quatro linhas de avaliação, para um total de 40 leituras por cada medição. Para o tratamento do PN também foram

realizadas medições no estrato baixo, entre touceiras de capim-caninha (ZANELLA, 2021). Quando a média de cada parcela atingiu a altura de entrada aos sistemas, os animais foram conduzidos às parcelas para iniciarem o processo de pastejo. A altura foi monitorada durante o pastejo, e quando atingiram o rebaixamento de 40% da altura de entrada, os animais foram retirados das parcelas e registradas as alturas pós-pastejo.

5.3.2 *Produção Forrageira*

A massa de forragem (MF) foi avaliada, ao longo de um ano iniciando no verão do ano 2019 e finalizando com a primavera do ano 2020, por meio do corte de quatro amostras pareadas por parcela, com massa, densidade e composição botânica similares, nos tempos de pré e pós-pastejo. Os cortes foram realizados render ao solo com tesoura e máquina de tosquia, alocando quadros de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m). Também foram avaliadas medidas de altura, em cinco pontos por amostra, com sward stick. As amostras de forragem foram secadas em estufa de ar forçado a 55°C por 72 horas para determinação da matéria seca da amostra.

A massa de forragem foi extrapolada por hectare (kg MS ha⁻¹) e calculada com base na matéria seca ponderada das amostras secas em estufa. O acúmulo de forragem foi estimado por meio de dupla amostragem (MONTAGNER *et al.*, 2008; MARTINS *et al.*, 2009) a partir da estimativa visual de 20 amostras as quais foram obtidas de forma sistemática em quatro linhas de avaliação por unidade experimental, no tempo de pré e pós-pastejo, para todos os pastejos durante o estudo. Para calibração da estimativa visual foram construídas equações de regressão da massa de forragem estimada em função da massa de forragem obtida nos cortes de massa de forragem (kg MS ha⁻¹). Para obter o acúmulo de forragem anual, foram somados os acúmulos de todos os ciclos, em dois tempos: o primeiro associado à produção estival partindo do pós-pastejo do primeiro ciclo do verão (07/12/2019) até o último pós-pastejo do último ciclo do outono subsequente (29/04/2020); e o segundo para avaliar o acúmulo associado à produção invernal, partindo do pós-pastejo do primeiro ciclo do inverno (17/07/2020) até o último pós-pastejo do último ciclo da primavera (09/12/2020). O acúmulo de forragem (AF) de cada época foi calculado por diferença da massa estimada calibrada, descontando-se

da massa de forragem pré-pastejo a massa de forragem pós-pastejo do ciclo anterior ($AF = MFPRÉ \text{ ciclón} - MFPÓS \text{ ciclón}^{-1}$).

5.3.3 *Composição Florística*

As avaliações de composição florística nos sistemas de pastagens foram estimadas segundo o método do Botanal (TOTHILL *et al.*, 1992), com 2 quadros fixos para cada unidade experimental PN, PP e PA e 4 quadros para PM por unidade experimental. Estas avaliações foram realizadas em 8 de janeiro e 10 de julho de 2020. Este método permite a obtenção da composição percentual das espécies presentes com a participação de cada uma na massa da área avaliada $0,25 \text{ m}^2$ (quadros de $0,5 \times 0,5 \text{ m}$). Para cada amostra foi designado um “rank” associado com a participação mais frequente na massa da área avaliada. Logo foram identificadas as espécies com menor participação ou representatividade na seção em estudo e se atribui a estas um percentual mínimo que é simbólico (1%), já que sua contribuição à toda população avaliada é ínfima.

5.3.4 *Avaliações nos sistemas radiculares*

Para as avaliações dos sistemas radiculares das plantas presentes na pastagem foram tomadas duas amostras (monólitos) de solo de $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ (8.000 cm^3) por cada unidade experimental. Foram separados os sistemas radiculares do solo, as raízes foram lavadas empregando peneiras para sua conservação. As raízes foram lavadas, armazenadas em etanol 50%, posteriormente escaneadas (scanner Epson Expression 10.000 XL) e analisadas no software de escaneamento WinRhizo Pro (2009) para determinar os seguintes parâmetros; gramas de raiz por metro quadrado (g/m^2), diâmetro das raízes (mm) e volume das raízes (cm^3).

5.4 AVALIAÇÃO NO SOLO

5.4.1 *Amostragem e análises do solo*

A coleta de solo para determinação do teor de carbono orgânico, densidade, porosidade e granulometria foi realizada em 18 de setembro de 2020. Trincheiras de 100 cm de profundidade foram abertas, uma em cada repetição de cada sistema, com auxílio

de uma retroescavadeira. As amostras de solo foram coletadas em duas faces da trincheira nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm de profundidade.

5.4.2 *Granulometria*

As amostras foram secas ao ar, moídas e peneiradas (2 mm); foram excluídos materiais vegetais grosseiros, como pedaços de hastes, talos e raízes. A composição granulométrica foi avaliada pelo método da pipeta, tendo-se utilizado a dispersão com NaOH a 1 mol L⁻¹ (GEE; BAUDER, 1986).

5.4.3 *Densidade e porosidade*

Foram coletadas amostras indeformadas, em duplicatas, com uso de anéis metálicos com 5 cm de altura e 6 cm de diâmetro interno em média, no centro de cada camada de solo avaliada. Após a coleta das amostras, ainda no campo, foi retirado o excesso de solo das bordas dos anéis, com o auxílio de um estilete. Os anéis volumétricos foram vedados com papel plástico para evitar possíveis danos e deformações. A porosidade total e microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico. No método da mesa de tensão a porosidade total foi determinada pela diferença de pesos da amostra saturada em água e da amostra seca, a microporosidade foi determinada pela diferença de pesos da amostra saturada em água (60 cm da coluna da mesa) e da amostra seca, e a macroporosidade pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A densidade foi calculada pela relação da massa da amostra do solo seco e o volume interno do anel (EMBRAPA, 1997).

5.4.4 *Carbono orgânico do solo (COT) e estoque de carbono*

As amostras de solo foram secas ao ar, moídas e peneiradas (2 mm). Materiais vegetais grosseiros, como pedaços de hastes, talos e raízes foram retirados da amostra de solo. A determinação dos teores de carbono orgânico total (COT) nas camadas de solo foram realizadas por combustão seca, utilizando como agente oxidante o dicromato de potássio em meio ácido, e uma fonte externa de calor. Analisou-se três repetições de cada camada de solo contendo 0,25 g de solo (TEDESCO *et al.*, 1995; YEOMANS; BREMNER, 1988; DE SOUZA *et al.*, 2008).

Os estoques de carbono orgânico total foram obtidos a partir da soma dos estoques de carbono por camada e estes foram calculados em massa de solo equivalente conforme ELLERT; BETTANY (1995), considerando a massa de solo da PN como referência.

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise dos dados foram verificadas as normalidades dos resíduos e as homogeneidades das variâncias, retirados “outliers”, posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância empregando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2013). Nesse caso, consideraram-se os quatro sistemas produtivos como dispostos em delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições dado que pela distribuição espacial dos sistemas estes não puderam ser casualizados. As análises de variância das variáveis resposta foram realizadas separadamente para cada uma das camadas do perfil de solo. Na análise de COT e estoque de carbono por camada e total foi empregada a argila como co-variável dado que a granulometria tem relação direta com os parâmetros mencionados. Para as comparações entre as médias, foi utilizado o teste de Tukey ($p < 0,05$).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 GRANULOMETRIA

Avaliando-se a textura dos solos nos sistemas de produção estudados, observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) na camada de solo de 20-40 cm (Tabela 3). Apesar desta diferença, esta variação não foi suficiente para alterar a classe de solo dos sistemas de produção, que é classificado como Cambissolo (EMBRAPA, 2013; RAUBER *et al.*, 2021), uma vez que elas mostram apenas as alterações nas partículas de silte para a camada de 20-40. As maiores médias de silte na camada 20-40 cm foram encontradas no PN (a), PM (a) e PA (ab). Estas diferenças provavelmente ocorreram devido a pequenas variações no micro-relevo ou por alguma característica específica da área amostral. A ausência de diferença significativa entre os teores de areia, silte e argila dos solos nos sistemas de produção pode ser atribuída à proximidade espacial entre eles e a mesma origem geológica e evolução do solo. Em média, as texturas dos solos sob os sistemas das pastagens são muito semelhantes, e com frações de areia, silte e argila bem distribuídas, o que leva a concluir que os sistemas estão localizados sobre solos com características granulométricas similares, no entanto, convém destacar que as amostras possuem um CV médio (10-20) e alto (20-30), o que caracteriza a heterogeneidade dos solos ocupados com pastagens (BIRD *et al.*, 2002; SOUSSANA; TALLEC; BLANFORD, 2010).

Tabela 3 - Textura do solo segundo as camadas dos sistemas produtivos; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA).

Sistemas	Areia	Silte	Argila
		----- % -----	
Camada 0-10 cm			
PN	34,96 ± 2,50	28,38 ± 5,89	36,65 ± 4,37
PM	29,46 ± 7,43	36,03 ± 4,48	34,50 ± 3,18
PP	42,90 ± 6,47	31,06 ± 7,37	26,04 ± 1,16
PA	32,82 ± 8,96	33,08 ± 5,87	34,10 ± 5,68
Camada 10-20 cm			
PN	33,02 ± 7,03	36,67 ± 1,97	30,31 ± 7,02
PM	35,14 ± 10,83	35,83 ± 11,03	29,03 ± 5,99
PP	43,34 ± 1,73	33,03 ± 1,18	23,63 ± 2,35
PA	29,21 ± 8,55	38,59 ± 7,89	32,20 ± 1,24
Camada 20-40 cm			
PN	31,26 ± 4,56	34,53 ± 6,23 a	34,21 ± 5,91
PM	28,02 ± 7,28	37,00 ± 5,05 a	34,98 ± 4,58
PP	38,21 ± 11,20	25,09 ± 4,32 b	36,67 ± 7,20
PA	33,89 ± 7,29	29,08 ± 4,86 ab	37,03 ± 2,60
Camada 40-60 cm			
PN	30,91 ± 5,91	34,81 ± 6,23	34,28 ± 5,91
PM	33,13 ± 9,32	35,35 ± 4,09	31,52 ± 5,09
PP	40,10 ± 11,71	34,01 ± 6,21	25,89 ± 6,65
PA	28,68 ± 9,25	34,43 ± 6,62	36,89 ± 3,41
Camada 60-100 cm			
PN	29,89 ± 5,91	34,59 ± 5,29	35,52 ± 1,46
PM	27,28 ± 8,82	39,27 ± 6,06	33,45 ± 3,94
PP	36,86 ± 10,07	28,30 ± 4,71	34,84 ± 7,70
PA	31,74 ± 7,24	27,90 ± 4,07	40,36 ± 3,60

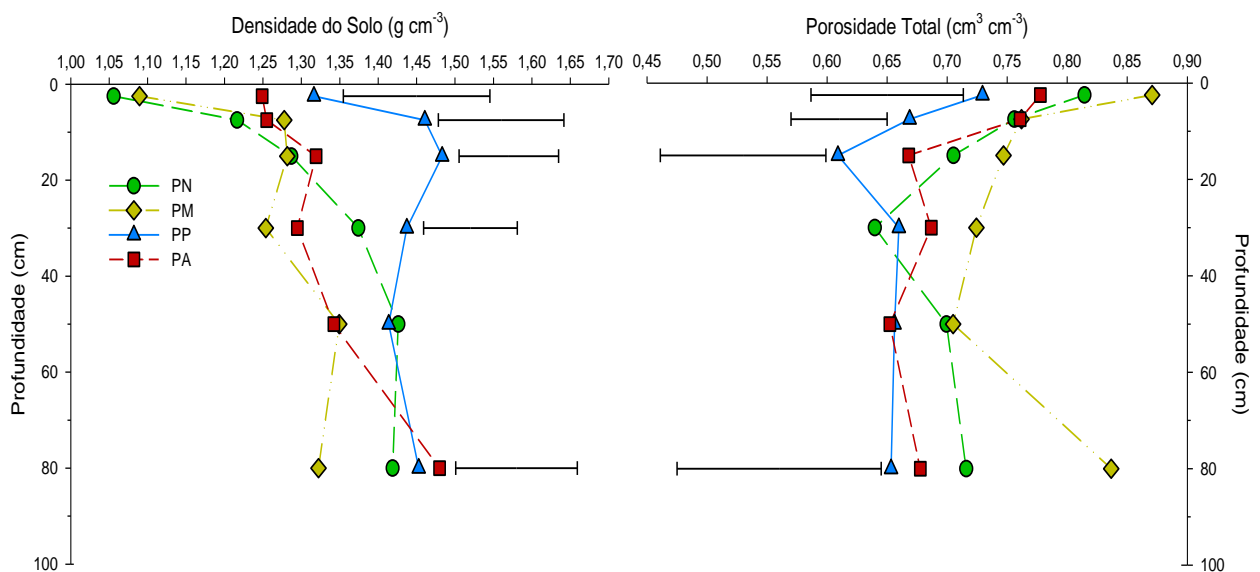
Médias dos tratamentos seguidos de letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

6.2 POROSIDADE E DENSIDADE

Para o parâmetro de densidade do solo, houve diferença significativa em todas as camadas do solo, a exceção da camada de 40-60 cm (Figura 3 e Anexo A). A diferença nas primeiras camadas até a profundidade de 40 cm pode ter origem da formação do solo ou dos sistemas produtivos, derivado das pressões mecânicas exercidas pelos implementos agrícola, no preparo do solo e na semeadura (GREENWOOD; MCKENZIE, 2001; BORTOLINI *et al.*, 2016), juntamente com o pisoteio do gado no pastejo (EVEN DILEK; CELIK; KILIC, 2004). Apesar da diferença significativa na camada 60-100 cm, não se pode concluir que exista influência do manejo dos sistemas produtivos sobre a densidade. Os efeitos da mecanização agrícola sobre o solo são expressos em camadas mais profundas do que o efeito do pisoteio animal, mas ambos são evidentes e maiores ao transcorrer do tempo (CONTE *et al.*, 2011; BORTOLINI *et al.*, 2016; DE AZEVEDO TEZOLIN *et al.*, 2021) inclusive em períodos maiores a 30 anos (GREENWOOD; MACLEOD; HUTCHINSON, 1997).

Figura 3 - Porosidade e densidade do solo no perfil do solo para os distintos sistemas produtivos; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA).



As barras representam a diferença mínima significativa segundo o teste de tukey ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Quanto maior a profundidade, maior a densidade do solo (CANTARUTTI; NASCIMENTO; COSTA, 2001; REICHERT *et al.*, 2016). Os valores mais elevados de densidade podem ser explicados pela redução nos teores de matéria orgânica ou COT nas camadas mais profundas (RIBEIRO *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020), fato observado em nossos dados (Figura 3 e 4; Anexo A e B). O processo de aumento da densidade do solo até atingir os níveis de compactação, impacta negativamente a produtividade das culturas forrageiras, causando prejuízos no desenvolvimento do sistema radicular, afetando a adequada absorção dos nutrientes para seu desenvolvimento, somado à redução dos espaços porosos do solo que diminuem a quantidade de oxigênio e água que circundam no solo (REICHERT *et al.*, 2007; SUZUKI *et al.*, 2007; PITARELLO *et al.*, 2016). A problemática na degradação dos atributos físicos do solo sob sistemas de pastagens no Brasil é comprovada pela substituição de culturas mais exigentes em relação às características físicas do solo, por espécies menos exigentes, porém de pior qualidade nutricional (BONFIM *et al.*, 2003).

Quando a densidade do solo ultrapassa 95 % da densidade máxima o solo é considerado compactado e a densidade deste solo é denominada de densidade crítica (REICHERT *et al.*, 2016). O valor de referência de densidade máxima varia segundo o tipo de solo, especialmente com a granulometria (REICHERT *et al.*, 2016). Segundo resultados de estudos anteriores realizados em PN, na mesma classe de solo desta pesquisa, expõem que a densidade máxima é de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ (RAUBER *et al.*, 2021). Dessa forma, podemos inferir que o valor de densidade a partir do qual os solos dos sistemas começam a restringir o desenvolvimento do sistema radicular das espécies é de $1,33 \text{ g cm}^{-3}$. Segundo o que foi anteriormente exposto, os sistemas apresentam compactação na seguinte ordem: PP e PN a partir dos 5 e 20 cm, no caso da PM e PA a partir dos 40 cm para. Na abertura das trincheiras para as amostragens no sistema produtivo do PN, especificamente nas unidades experimentais 1 e 2, foi atingido a rocha matriz em uma e duas oportunidades respectivamente. Na unidade experimental 2 a amostragem do solo foi até a camada 40-60 cm, ficando evidente a pouca profundidade do solo nestas áreas avaliadas. Na maior profundidade da camada do solo, tende a ser mais compacto, pela pressão do peso das camadas superiores juntamente com as diversas atividades sobre o solo (REICHERT *et al.*, 2016).

A macro e micro porosidade diferiu significativamente entre os sistemas em todas as camadas avaliadas, fato similar ocorreu com a porosidade total que só não houve diferença significativa na camada 20-40cm (Anexo A). De forma geral, a maior porosidade total foi observada no PM e a menor no PP, os sistemas PN e PA apresentaram medidas intermediárias para esta variável. A porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade do solo apresentaram, de forma coerente, uma relação inversamente proporcional à densidade do solo (REICHERT *et al.*, 2016), ou seja, menores valores foram encontrados nas camadas mais profundas e maiores nas camadas superficiais, evidenciando um solo mais estruturado, poroso e permeável, nas camadas superficiais, o que favorece a infiltração de água da chuva, diminuindo o escoamento superficial (HAMBLIN, 1985; OSA, 2014), Favorecendo desenvolvimento microbiano (NEAL *et al.*, 2020), e desenvolvimento forrageiro (SUZUKI *et al.*, 2007).

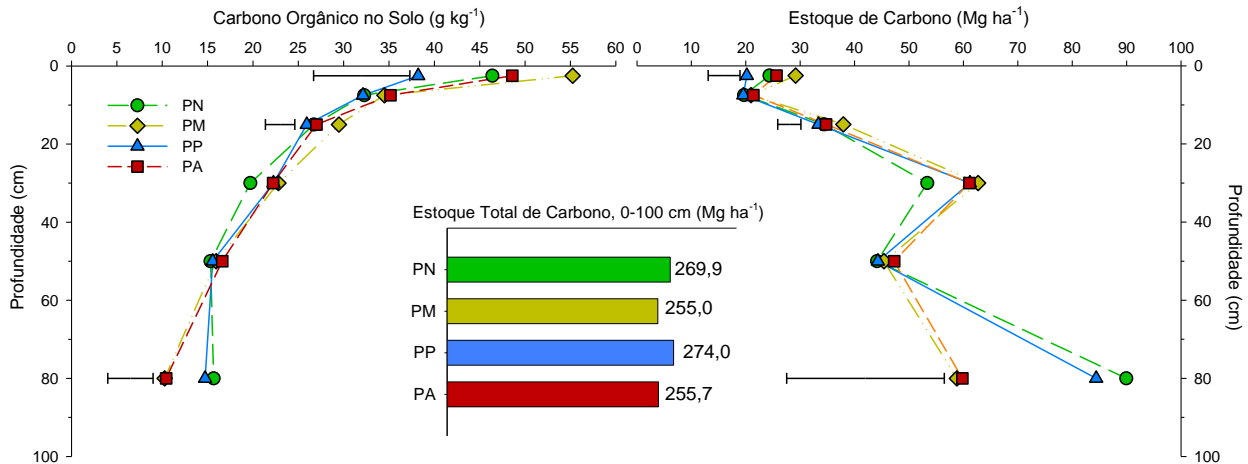
Observou-se diferença significativa na macro, micro e porosidade total nas camadas mais profundas (40-60 cm e 60-100 cm) dos solos estudados, mas, estas diferenças não podem ser atribuídas ao manejo dos sistemas, dado que as influências do manejo sobre estas características são evidenciadas principalmente nas camadas superficiais do solo (ABDALLA *et al.*, 2018; DE AZEVEDO TEZOLIN *et al.*, 2021). Então, estas diferenças podem ser atribuídas a características particulares do solo e a atividade biológica sob cada sistema. Os macroporos geralmente são formados por raízes e organismos da fauna, minhocas, larvas de besouros e de díptera, assim como de formigas e cupins (LUCAS *et al.*, 2019). Os microporos, por sua vez, têm função no armazenamento de água e relação direta com os micro-organismos (BATISTA *et al.*, 2018; NEAL *et al.*, 2020). Apesar da redução da macroporosidade nas áreas com pastagens, as quais são mais intensamente alteradas pela pressão mecânica sobre o solo exercida pelo pisoteio animal, os valores observados encontram-se acima de $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, limite abaixo do qual a atividade biológica, as trocas gasosas e o crescimento das raízes da maioria das culturas podem ser prejudicados (TAYLOR; ASHCROFT, 1972; RAUBER *et al.*, 2020).

6.3 TEOR DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO DAS PASTAGENS

Após cinco anos de manejo dos sistemas de produção de pastagens, o teor de carbono orgânico no solo apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) na camada mais superficial (0-5 cm), na camada de 10 a 20 cm e na camada mais profunda (60-100 cm) dos solos estudados. Para a camada de 0 a 5 cm e de 10 a 20 cm o padrão foi similar o maior teor de carbono foi observado na PM (a), logo se encontram PA (ab) e PN (ab) e por último PP (b) (Figura 4; Anexo B). A diferença entre os sistemas deve-se que o PM é um sistema onde a estrutura do solo não foi alterada com o plantio convencional como o PA e PP, sistemas onde os atributos físicos dos solos conservados tendem a armazenar mais carbono que os sistemas com revolvimento (ELLERBROCK; HÖHN; GERKE, 2001; EVEN DILEK; CELIK; KILIC, 2004; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; OLSON *et al.*, 2016; BERON GARAY; ALVAREZ, 2019) PM e PN tem a maior diversidade de espécies forrageiras, sistemas com maior aporte de resíduos e diversidade dos sistemas radiculares mantêm ou aumentam o carbono no solo (STEWART *et al.*, 2007; COTRUFO *et al.*, 2013; CONANT *et al.*, 2017; ABDALLA *et al.*, 2018), através do processo de humificação, exsudação de compostos orgânicos e descamação das raízes (PIÑEIRO *et al.*, 2010; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; CONANT *et al.*, 2017). Os sistemas forrageiros favorecidos nutricionalmente com adição de nitrogênio, fósforo e potássio, como o PM, PP e PA tendem a apresentar maior teor de carbono quando comparado aos sistemas sem adição de fertilizantes, devido ao incremento da produção forrageira e ótimo crescimento do sistema radicular (LAL; BRUCE, 1999).

A semelhança ($p < 0,05$) nas seguintes duas camadas 20-40 cm e 40-60 cm e a diferença significativa ($p < 0,05$) na última camada avaliada (60-100 cm) onde PN (a) obteve a maior média que não diferiu de PP (ab) e PA (ab), que também não diferiram da PM (b) mas está sem do PN. Os resultados sugerem que os sistemas de manejo das pastagens não têm tido influência no armazenamento do carbono. Isto pode ter relação direta ao curto tempo de manejo dos sistemas; o processo de troca de carbono do solo, aumento ou perda, é lento (BURKE *et al.*, 1989; PIÑEIRO; PARUELO; OESTERHELD, 2006). E que as variações no carbono orgânico se dá nas primeiras camadas do solo (RIBEIRO *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020).

Figura 4 - Teor de carbono orgânico e estoque de carbono no perfil do solo nos sistemas de produção de pastagens; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA).



As barras representam a diferença mínima significativa segundo o teste de tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Fator importante nesta pesquisa, que influencia o teor de carbono no solo é a granulometria. A granulometria tem relação direta com a matéria orgânica (HEWINS *et al.*, 2018), solos mais argilosos tendem a ter maiores teores de matéria orgânica devido a formação de agregados como proteção e presença de complexos organo-minerais estáveis (SIX *et al.*, 2002; VON LUTZOW *et al.*, 2006; CHENG *et al.*, 2011; COTRUFO *et al.*, 2013; BERON GARAY; ALVAREZ, 2019), o fato que nos sistemas PN, PM, PA e PP não tiveram diferença estatística significativa nas quantidades de areia, silte e argila, sustenta os resultados nos teores de carbono orgânico destes sistemas. Mas PP encontra-se desfavorecido neste sentido dado que na sua granulometria a média numérica de concentração de argila é menor e de areia é maior (tabela 3) com respeito aos outros sistemas forrageiros. Solos com maior fração de areia do que argila tendem a ter menor acúmulo de carbono, em função da menor proteção física e química da matéria orgânica (PUTASSO, 2011; DLAMINI *et al.*, 2016).

Os sistemas de pastagens estudados devido a sua localização e clima, estão sob solos considerados como solos de altitude (altitudes maiores que 900 m acima do nível do mar), uma das características destes solos é o alto teor de material húmico, como resultado das baixas temperaturas que afeta a atividade microbiana, o que torna o

processo de decomposição da matéria orgânica mais lento. (REICHERT *et al.*, 2016). A partir da análise da Figura 4 (Anexo B), observa-se que de forma geral, os teores de carbono tendem a diminuir nas camadas mais profundas do solo. Isto é considerado normal, dado que os maiores aportes de matéria orgânica são feitos nas primeiras camadas do solo (RIBEIRO *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020). Em sistemas de produção de pastagens, a maior parte do sistema radicular das espécies encontra-se nos primeiros centímetros do solo, garantindo maior aporte de matéria orgânica nas camadas superficiais (ABDALLA *et al.*, 2018).

A pecuária adiciona carbono na superfície do solo através dos resíduos vegetais e excretas dos animais (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). A atividade biológica no solo desenvolve-se no estrato superior do solo, o que permite transportar matéria orgânica da superfície do solo para as camadas superficiais, como resíduos da alimentação e dejeções (JONES; DONNELLY, 2004). Ponto importante é a diferença fisiológica e composição das pastagens, as plantas C₄ quando pastejadas apresentam maior potencial em estocar carbono no solo que as plantas C₃, em virtude da maior relação raiz/parte aérea e liberação de exsudatos radiculares no solo (MCSHERRY; RITCHIE, 2013; ABDALLA *et al.*, 2018; WILSON *et al.*, 2018). Outro fator pela qual o teor de carbono orgânico nos sistemas é alto é que o material orgânico advindo do sistema radicular de plantas forrageiras apresenta baixas taxas de decomposição, devido à presença de compostos resistentes à degradação (lignina, polifenóis, dentre outros) e uma larga relação entre carbono e nutrientes (POTTHAST *et al.*, 2010; PAUTASSO *et al.*, 2011; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). Assim, o incremento no teor de C nos solos sob pastagem pode estar mais associado à qualidade do material orgânico a ser degradado do que à quantidade de matéria orgânica gerado nos sistemas, o que pode garantir maior permanência do C em um sistema em detrimento do outro (COSTA *et al.*, 2009; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; CONANT *et al.*, 2017).

6.4 ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO

No presente estudo, não foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os sistemas de produção forrageiros avaliados para os estoques de carbono orgânico total no solo avaliado a uma profundidade de 0 a 100 cm (Figura 4; Anexo C). Estes resultados devem-se principalmente ao pouco tempo de manejo dos sistemas cultivados PM, PP e PA em comparação com o PN (BURKE *et al.*, 1989; PIÑEIRO *et al.*, 2009; TABOADA *et al.*, 2011; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; CONANT *et al.*, 2017; ALVAREZ; BERTHONGARAY; GIMENEZ, 2021), a complexidade e variabilidade dos sistemas de pastagens estudados (SOUSSANA *et al.*, 2004). Efeitos remanescentes do histórico anterior de manejo e a alta variabilidade espacial (CANNELL *et al.*, 1999; SOUSSANA *et al.*, 2004; FRANZLUEBBERS; TIEDEMANN, 2009; SOUSSANA; TALLEC; BLANFORD, 2010) podem influenciar estes resultados. Parte desta variabilidade está originada nas amostragens em diversas profundidades, a distribuição espacial do carbono no solo é heterogênea (BIRD *et al.*, 2002), o que limita a precisão das determinações de mudanças de estoque (SOUSSANA; TALLEC; BLANFORD, 2010). A densidade e teor de carbono no solo tem relação direta com o estoque de carbono no solo (ABDALLA *et al.*, 2018), no presente estudo estes parâmetros apresentaram diferença significativa nas camadas 0-5, 10-20 e 60-10 cm de solo entre os sistemas.

Da mesma forma, ao COT, no estoque de carbono no solo foi encontrado diferença significativa nas camadas de 0-5, 10-20 e 60-100 cm do solo nos sistemas avaliados. As camadas superficiais do solo são normalmente mais sensíveis à ação antrópica do que as camadas mais profundas do solo (ORGILL *et al.*, 2018). PM (a) e PA (a) apresentaram o maior estoque de carbono no solo só na primeira camada (0-5 cm), para PM devido a manutenção da sua estrutura (SÁ *et al.*, 2017), incorporação de matéria orgânica (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014), maior diversidade de sistemas radiculares e adubação (CONANT *et al.*, 2017), para o PA devido a adubação e a produtividade forrageira (ABDALLA *et al.*, 2018). O tratamento PN (ab) não difere dos outros sistemas, este sistema manteve a estrutura do solo (SÁ *et al.*, 2017), mas não recebe adubação (CONANT *et al.*, 2017). PP (b) teve a menor média numérica nessa camada, isto pode

estar sustentado no tipo de solo mais arenoso e menos argiloso do que os outros sistemas, o qual deixa em desvantagem em relação à proteção da matéria orgânica (PUTASSO, 2011; DLAMINI *et al.*, 2016). Na camada de 5 a 10 cm do solo todos os sistemas não apresentaram diferença significativa, isto pode estar baseado na heterogeneidade dos dados (SOUSSANA; TALLEC; BLANFORD, 2010). Na camada de 10 a 20 cm, PM (a) apresentou a maior média seguidos pelos PA (ab) e PN (ab) que não diferiram dos outros sistemas, por último nesta camada está o PP (b), as razões destes resultados são similares as da primeira camada (0-5 cm). PM conserva a estrutura dos agregados (SÁ *et al.*, 2017), um ótimo desenvolvimento rizosférico (CONANT *et al.*, 2017), boa adubação e incorporação de espécies hibernais (WANG *et al.*, 2020). No caso PA e PN são desfavorecidas pelo manejo do solo e a não adubação respectivamente, PP apresentou a menor média isto pode ser sustentado pela granulometria do solo deste sistema, pelo pouco tempo de manejo ou variabilidade dos dados (SOUSSANA *et al.*, 2004; FRANZLUEBBERS; TIEDEMANN, 2009; DLAMINI *et al.*, 2016; SOUSSANA; TALLEC; BLANFORD, 2010; LIN *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020).

As camadas de 20-40 e 40-60 cm não apresentaram diferença significativa entre os sistemas, devido ao fato de que o efeito dom do manejo dos sistemas não chegou a estas profundidades (ORGILL *et al.*, 2018), ou que o tempo de manejo dos sistemas é curto como para alterar o estoque de carbono nestas camadas (CONANT *et al.*, 2017). Os sistemas apresentaram diferença significativa na última camada (60 a 100 cm) PN (a) teve a maior média seguido pelo PP (ab) e PA (ab) e por último o PM (b) isto está diretamente relacionado aos efeitos do histórico de manejo e a alta variabilidade espacial ou heterogeneidade dos solos (CANNELL *et al.*, 1999; SOUSSANA *et al.*, 2004; FRANZLUEBBERS; TIEDEMANN, 2009; SOUSSANA; TALLEC; BLANFORD, 2010).

O estoque de carbono dos sistemas é considerado alto, característico de um solo de altitude, submetido a baixas temperaturas o qual diminui o processo de decomposição dos resíduos vegetais permitindo maior humificação e posteriormente o armazenamento do carbono no solo (KLUG, 2014; LUPATINI *et al.*, 2019).

Conant, Paustian e Elliott (2001) realizaram meta-análise de 115 estudos sobre a influência de principais práticas de manejo e conversão de pastagens sobre o estoque de carbono no solo. O estudo avaliou sistemas de manejo ao redor do mundo, mas 87% dos estudos abrangem a Austrália, Reino Unido, Nova Zelândia, Canadá, Brasil e Estados Unidos. Foram analisados manejos que incluíram fertilização, melhoramento das pastagens, introdução de leguminosas e minhocas. Os autores concluíram que nas pastagens sobrepastejadas o estoque de carbono no solo diminuiu em média $0,19 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em comparação com pastagens sob pastejo moderado. O teor de carbono no solo tende a ser maior nas camadas de 10 cm do solo. O pastejo foi designado como principal fator de manejo em áreas sem histórico de pastejo para o incremento do estoque de carbono no solo. O tipo de bioma influenciou as taxas de sequestro de C em média em todas as mudanças de manejo variando, até $1,0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para pastagens nativas. Para a maioria dos estudos, o aumento do C do solo pode ser o resultado do aumento da produção. Apresenta-se a seguir de forma detalhada os fatores que influenciam no estoque de carbono dos solos sob sistemas de produção de pastagens:

6.4.1 *Manejo do solo e o estoque de carbono*

Os fatores que afetam o estoque de carbono no solo de forma geral segundo os sistemas avaliados são o sistema de implantação, a adubação, o número de espécies forrageiras e sua classificação segundo seu ciclo de vida e o regime de desfolha (CONANT *et al.*, 2017; LIN *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020). Segundo o exposto anteriormente e as diferenças entre os sistemas produtivos, temos que na implantação da PA e PP foi utilizado o sistema convencional de revolvimento do solo, esta prática altera a estrutura física do solo rompendo os agregados, sendo estes os que dão proteção ao carbono estocado no solo, ao tornar o carbono do solo exposto este é mais vulnerável à oxidação, desacoplado do sistema como dióxido de carbono pelos micro-organismos (PIÑEIRO *et al.*, 2010; SÁ *et al.*, 2017). Somado a isto, o revolvimento superficial do solo pela operação de preparo promove o rompimento dos agregados, a lixiviação, e a erosão, assim como o aumento da temperatura, evapotranspiração. O manejo diminui o teor de umidade, aumentando a concentração de oxigênio no solo, promovendo a rápida degradação dos resíduos orgânicos adicionados, o que pode acelerar a oxidação da

matéria orgânica e aumentar as emissões de GEE. Isto ocasiona perdas significativas de carbono no estoque de carbono (PIÑEIRO *et al.*, 2010; OLSON *et al.*, 2016; SÁ *et al.*, 2017).

Veloso *et al.* (2018), avaliaram a influência do manejo do solo sobre o estoque de carbono no solo num experimento de longa duração (30 anos). Avaliações até a profundidade 0-100 cm, mostraram grandes diferenças com respeito aos sistemas de plantio direto e no sistema convencional para o estoque de carbono no solo (até 35 C Mg ha⁻¹). Assim mesmo Veloso *et al.* (2018) concluíram que a taxa de armazenamento de carbono nas camadas superficiais do solo diminui ao longo do tempo, sendo isto um processo lento. A semeadura com revolvimento do solo é recorrente na PA dado que é utilizada no outono e primavera, ao passo que no sistema PP foi realizado apenas na implantação do pasto. A diferença dos sistemas de PM e PN reside na semeadura direta das pastagens hibernais, e o processo natural de rebrota das espécies nativas, respectivamente. Em ambos os sistemas a estrutura do solo é mantida, protegendo o carbono, reduzindo as perdas o que aumenta o armazenamento (BAYER *et al.*, 2000; BERON GARAY; ALVAREZ, 2019).

Segundo Carter e Gregorich (2010) o tempo de vida da cultura cultivada sobre o solo tem interferência no estoque de carbono no solo. Pastos perenes podem aumentar o estoque de carbono no solo devido ao comprimento e profundidade do sistema radicular, diferentemente de culturas anuais que desenvolvem um sistema radicular superficial. Pastagens perenes pastoreadas por gado podem ser consideradas um sumidouro significativo de carbono no solo (FRANZLUEBBERS; TIEDEMANN, 2009). Carter e Gregorich (2010) desenvolveram um experimento de longo prazo (7 anos) na qual avaliaram a variação do estoque de carbono sob pastagens perenes reportando resultados em aumento significativo (23%) do armazenamento do carbono no solo com respeito ao início do experimento. Por sua parte Franzluebbbers e Tiedemann (2009) realizaram um experimento de longa duração (12 anos) conduzido em Georgia, USA, onde avaliaram o estoque de carbono de plantas perenes. Estes autores não encontraram diferença significativa a uma profundidade de solo de 90 cm, este resultado

foi associado à variabilidade dos dados e as pequenas perdas de carbono do solo devido a um efeito remanescente do uso histórico da terra, ao invés do manejo experimental.

6.4.2 *pH do solo e adubação da pastagem e o estoque de C no solo*

A correção do pH e adubação foram realizadas na implantação dos sistemas PM, PP e PA, diferentemente do PN onde não foi realizada a correção do solo. Os manejos agrônômicos modificaram os atributos nos sistemas PM, PP e PA, principalmente com relação aos efeitos da calagem realizado nessas áreas onde PN, possui pH mais ácido, maior concentração de H+Al, além de apresentar 1,41 cmol_c de Al³⁺, enquanto os PM, PP, PA não possuem teores de Al³⁺ trocável. Ainda como resultado da adição de calcário é observado menor teor dos cátions Ca e Mg, assim como menor saturação por bases e CTC na PN (Tabela 1). Solos com pH na faixa acima de 5,5 e adição de nutrientes tendem a ter maior atividade microbiana, os micro-organismos são os encarregados da degradação da matéria orgânica, a diferença de solos com pH ácido (<5,5) e baixa qualidade nutricional onde a atividade microbiana é reduzida (CARDOSO; TSAI; NEVES; 1992; LUPATINI *et al.*, 2019). Em contrapartida, solos com pH corrigido apresentam aumento na produtividade da cultura manejada na área propiciando maior estoque de carbono (CARDOSO; TSAI; NEVES; 1992; LUPATINI *et al.*, 2019).

A adubação também é outro fator relevante no aumento do estoque de carbono no solo. Esta é realizada com a finalidade de conservar ou aumentar a fertilidade do solo, suprimindo as deficiências e proporcionando o pleno desenvolvimento dos sistemas de pastagens, a correta adubação aumenta a produtividade forrageira (CONANT; PAUSTIAN; ELLIOTT, 2001; SBRISSIA; DA SILVA; NASCIMENTO JÚNIOR, 2007). Esta prática agrícola é importante para o estoque de carbono no solo que permite condições ideais para o desenvolvimento da planta tanto da parte aérea como da raiz, esta última é uma das vias mais importante para a adição direta de carbono ao solo. Através das raízes das plantas, mediante o processo de rizodeposição. Neste processo, as raízes liberam compostos carbonados e descamam suas células epidérmicas e corticais (CONANT; PAUSTIAN; ELLIOTT, 2001; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; CONANT *et al.*, 2017; BERHONGARAY; ALVAREZ, 2019). O processo de rizodeposição em conjunto com a atividade de minhocas, cupins, larvas, colêmbolos e outros organismos presentes

no solo são considerados os principais fatores responsáveis pelo sequestro de carbono em solos de pastagem (JONES; DONNELLY, 2004; CONANT *et al.*, 2017).

As raízes também afetam a decomposição da matéria orgânica no solo, por meio da diminuição de nutrientes para micro-organismos devido à absorção pelas plantas, mudança do ambiente físico na rizosfera, reduzindo substratos orgânicos (CHENG; KUZUYAKOV, 2005). Sistemas com adição de fertilizantes apresentam maior estoque de carbono quando comparados com sistemas que não apresentam fertilização (LAL; BRUCE 1999; CONANT, *et al.*, 2017). Para o fato desta investigação os sistemas que receberam adubação nitrogenada foram o PM, PP e PA a diferença do PN que não foi fertilizada. Conant, Paustian e Elliott (2001) expõem que as taxas de sequestro de C por melhoramento das pastagens pelo emprego de fertilizantes variaram de 0,11 a 3,04 mg C ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 0,54 mg C ha⁻¹ ano⁻¹, e estas são fortemente influenciadas pelo tipo de bioma e clima. A inserção de leguminosas nos sistemas de pastagens no caso do PM e PP tem relevante importância no aumento do estoque de carbono no solo (VELOSO *et al.*, 2018). As leguminosas fixam o N atmosférico, melhorando a qualidade nutricional do solo, melhorando o desenvolvimento radicular (Conant *et al.*, 2017). Veloso *et al.* (2018) avaliaram sistemas instalados com plantio convencional e direto, mas em todos os sistemas com adição de leguminosas mostraram saldos positivos de estoque de carbono no solo ao longo de 30 anos.

6.4.3 Número e tipo de espécie

O número de espécies forrageiras influencia significativamente no estoque de carbono no solo, dado que o maior número de espécies irá promover maior variedade de sistemas radiculares nas pastagens (CONANT *et al.*, 2017). As raízes aportam carbono nas primeiras camadas do solo, devido à renovação da raiz, rizodeposição, respiração da raiz e resposta microbiana a estas atividades (LANGE *et al.*, 2015; CONANT *et al.*, 2017; ABDALLA *et al.*, 2018; DE AZEVEDO, 2021). No presente estudo foi avaliada a composição florística dos sistemas forrageiros no verão e inverno. Foram catalogadas 51 espécies forrageiras em todos os sistemas (Tabela 4; Anexo D). Em ambos os períodos, PM destaca-se junto com PN por apresentar a maior riqueza de espécies forrageiras em relação a PP e a PA.

No verão foram contabilizadas 35 espécies para o PM, uma contribuição de: 34,88% da massa de forragem para o gênero *Paspalum*, 14,70% de contribuição para o gênero *Andropogon* e 10,05% do gênero *Axonopus*. Frações menores de contribuição estão os gêneros *Stachytarpheta* (7,29%), *Holcus* (5,68%), *Erianthus* (4,41%) e *Trifolium* (3,36%). PN apresentou uma clara dominância do gênero *Andropogon* com um 59,29 % de ocupação das áreas avaliadas, sobre as 23 espécies que compõem este sistema, uma marcada característica da fisionomia dos campos palha grossa. As menores contribuições estão associadas aos gêneros *Paspalum*, *Axonopus*, e *Piptochaetium* com 14,19%, 7,97%, e 5,15%, respectivamente. Logos temos à PP composta por 10 espécies, sendo as principais *Cynodon dactylon* (88,75%) e *Trifolium repens* (3,79%) e por último a PA é composta, apenas por *Pennisetum americanum* (99,05%) e *Setaria parviflora* (0,95%).

Para o Inverno os resultados foram semelhantes ao verão: PM contou com a maior diversidade, 38 espécies, com uma distribuição equitativa entres as principais espécies, *Cerastium glomeratum* Thuill. (21,25%), *Lolium multiflorum* Lam. (18,92%) seguido de *Andropogon lateralis* (11,81%), logo em menor ordem apresentou *Holcus lanatus* L. (7,34%), *Axonopus compressus* (Sw.) P. Beauv. (7,14%), *Sida spp* (6,69%), *Trifolium repens* L. (5,98%) e *Stachytarpheta cayennensis* (Rich.) Vahl (3,95%), as demais espécies representam contribuição menor que 3%. PN manteve a dominância de *A. lateralis* sobre 26 espécies com 49,18%, seguido de longe de *Achyrocline satureioides*, *Axonopus affinis* Chase e *Axonopus siccus* (News) Kuhl 7,19%, 6,04% e 5,07% respectivamente. PP e PA apresentaram dominância por parte das plantas cultivadas. Para o PP, o dominante foi o *Lolium multiflorum* (47,30%), seguido de *Cerastium glomeratum* Thuill. (24,64%), e *Trifolium repens* (14,78%), *Holcus lanatus* L. (8,63%) e por último *Paspalum umbrosum* Trin (1,04%). PA foi composta por *Lolium multiflorum* (74,84%), *Cerastium glomeratum* Thuill. (10,28%), *Hypochaeris catharinensis* (7,71%), *Trifolium repens* L. (6,42%) e *Setaria parviflora* (0,70%). A diversidade maior dos sistemas PM e PN pode ter maior aporte de carbono ao solo, em comparação com os sistemas PP e PA (LANGE *et al.*, 2015).

Tabela 4 - Percentagem de contribuição por espécie na massa de forragem pelo método Botanal nos sistemas de pastagens em duas épocas do ano.

Espécie	Sistemas							
	PN	PM	PP	PA	PN	PM	PP	PA
	----- Verão -----				----- Inverno -----			
<i>Achyrocline satureioides</i>	0,00	0,50	0,00	0,00	7,19	0,37	0,00	0,00
<i>Andropogon lateralis</i> Nees	59,29	14,70	0,00	0,00	49,18	11,81	0,00	0,00
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	0,81	0,52	0,00	0,00	3,91	1,12	0,00	0,00
<i>Axonopus affinis</i> Chase	7,97	10,05	0,00	0,00	6,04	1,78	0,00	0,00
<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P. Beauv.	0,99	0,00	0,00	0,00	3,38	7,14	0,00	0,00
<i>Axonopus siccus</i> (Nees) Kuhlm.	0,30	0,00	0,00	0,00	5,07	0,00	0,00	0,00
<i>Baccharis tridentata</i> Vahl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,89	0,00	10,28
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. cv Jiggs	0,00	0,00	88,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cyperus rotundus</i> L.	0,00	3,09	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00
<i>Erianthus angustifolius</i> Nees	0,00	4,41	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00
<i>Holcus lanatus</i> L.	1,01	5,68	0,00	0,00	0,87	7,34	8,63	0,00
<i>Hypochaeris catharinensis</i> Cabrera	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	0,57	0,00	7,71
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,92	47,30	74,84
<i>Paspalum leptum</i> Schult.	0,78	11,73	0,00	0,00	3,45	0,40	0,00	0,00
<i>Paspalum nicorae</i> Parodi	0,42	8,59	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00
<i>Paspalum notatum</i> Flüggé	14,19	7,17	0,00	0,00	3,44	0,47	0,00	0,00
<i>Paspalum umbrosum</i> Trin	0,00	7,39	1,48	0,00	0,00	0,45	1,04	0,00
<i>Pennisetum glaucum</i>	0,00	0,00	0,00	99,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Piptochaetium montevidense</i> (Spreng.) Parodi	5,15	0,60	0,00	0,00	2,30	0,50	0,00	0,00
<i>Sida</i> spp	0,00	0,45	0,77	0,00	0,00	6,69	0,54	0,00
<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (Rich.) Vahl	0,00	7,29	1,15	0,00	0,00	3,95	0,81	0,00
<i>Trifolium repens</i> L.	0,99	3,36	3,79	0,00	0,85	5,98	14,78	6,42
<i>Vicia sativa</i> L.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,32	24,64	0,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Assim como o número de espécies, as gramíneas com ciclos metabólicos do carbono também influenciam o estoque de C. Plantas C₄ têm maior proporção do sistema radicular em relação à parte aérea, o que promove maior sequestro de carbono ao solo do que as plantas C₃ (MCSHERRY; RITCHIE, 2013; ABDALLA *et al.*, 2018; WILSON *et al.*, 2018). Os sistemas PP, PA e PM são formados por plantas C₄ em maior proporção que as plantas C₃, com produção que se estende ao longo do ano permitindo maior aporte de carbono em comparação a PN que só conta com plantas C₄ cuja produção está centrada principalmente num período quente do ano. Trabalho conduzido na região sul do Brasil Latossolo Vermelho sistemas de cultivo mais intenso usando rotação com cinco culturas com sistemas radiculares heterogêneo em relação a cultivos menos intensos com rotação de duas e três culturas, observou incremento no estoque de carbono no solo (CAMPOS *et al.*, 2011).

6.4.4 *Produção Forrageira*

A produção de forragem dos sistemas em estudo no último ano de condução apresentou diferença significativa (Tabela 5). A PP (a) apresentou a maior produção com respeito aos outros sistemas, seguido de PA (b) e PM (b) que não diferem entre si, mas foram maiores do que PN (c). De forma geral a sequência dos resultados da produção de massa seca dos sistemas forrageiros foram os esperados, isto principalmente pela estacionalidade produtiva das espécies forrageiras que compõem os sistemas. A existência de pontos críticos ou vazios forrageiros, outonais ou primaveris, na produção de matéria seca, são marcantes na produção forrageiras de climas temperados (OMETTO, 1981; GARNIER, 1992; NABINGER; CARVALHO, 2009; OJEDA *et al.*, 2018; COSGROVE *et al.*, 2020). A produção em pastagens perenes é contínua, diminuindo o vazio forrageiro. As pastagens perenes estivais e hibernais logo de atingiram seus máximos picos de produção iniciam a queda de sua produção, mas antes de atingirem seu ponto zero de produção já as espécies do seguinte ciclo irão brotar e crescer. A diferença das PA que apresentam dois vazios forrageiros bem marcados, onde a produção de forragens é zerada, devido a remoção da capa vegetal do solo para a implantação das espécies, estima-se que este vazio tem duração entre 30 a 45 dias após a implantação (GARNIER, 1992; OJEDA *et al.*, 2018; COSGROVE *et al.*, 2020). A maior

produção de matéria seca da PP (a) sobre a PA (b) está também associado ao estabelecimento total da PP (OJEDA *et al.*, 2018).

Tabela 5 - Produção forrageira nos sistemas e relação carbono/nitrogênio da parte aérea dos sistemas forrageiros; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA).

Sistemas	Acúmulo Anual kg MS*ha*ano ⁻¹	C/N Verão	C/N Inverno
PN	6.615 ± 1468 c	98,7 ± 7,2 aA	30,63 ± 3,3 aB
PM	9.552 ± 563 b	69,5 ± 6,7 bA	12,13 ± 0,8 bB
PP	13.044 ± 450 a	36,8 ± 5,7 cA	11,18 ± 1,3 bB
PA	9.771 ± 805 b	35,9 ± 17,0 cA	9,07 ± 1,9 bB

Médias dos tratamentos seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Espécies perenes têm demonstrado alta resistência sendo este um componente importante da produtividade do PP (COSGROVE *et al.*, 2020). Garnier, (1992), fez uma análise de crescimento com sete pares de gramíneas anuais e perenes, onde todas as espécies perenes apresentaram maior produtividade de matéria seca em relação com as anuais, este resultado foi constante da mesma forma para a massa da raiz e desenvolvimento rizosférico. Outro indício da maior produtividade das pastagens perenes sobre as anuais é a resistência que estas têm sobre plantas daninhas ou invasoras.

Lavarello Herbin, Golluscio e Rodriguez (2020) realizaram um experimento próximo a Buenos Aires, Argentina, onde estudaram a influência de plantas daninhas no desenvolvimento e na produção de pastagens perenes e anuais. Eles encontraram como resultado, que as plantas daninhas ou invasoras diminuíram a produção de massa seca dos dois sistemas avaliados, mas apesar desta diminuição as pastagens perenes tiveram produção de matéria seca significativamente maior com respeito às pastagens anuais. Lavarello Herbin, Golluscio e Rodriguez (2020) atribuem este resultado ao forte sistema radicular que desenvolveu que as pastagens perenes possuem em comparação às anuais. A produção no PM (b) foi maior ao PN (c) devido a inserção de espécies de ciclo

invernal e à fertilização do primeiro, o que compensa a baixa produtividade do PN no inverno, sendo este o objetivo do melhoramento das PN (BRANDENBURG, 2004; CÓRDOVA *et al.*, 2004; NABINGER; CARVALHO, 2009)

O aporte de carbono para o solo pelos dos sistemas de produção de pastagens foi maior para o PP (a) dado que teve a maior produção de massa seca, seguido de PA (b) e PM (b), sendo o menor aporte observado em PN (c). Sistemas de forragens bens manejados, com maior produção de massa seca, incorporam maior quantidade de carbono ao solo, comparados com os sistemas de menor produção, isto relacionado ao desenvolvimento radicular das espécies (CONANT; PAUSTIAN; ELLIOTT, 2001; CHENG; KUZYAKOV, 2005; CONANT *et al.*, 2017; NEAL, *et al.*, 2020). Os resultados observados foram afetados pela estiagem e as altas temperaturas que ocorreram durante o verão e outono do último ano de avaliação (EPAGRI/CEPA, 2020). A precipitação esteve abaixo da média mensal de 137 mm (GOTARDO, 2018), por exemplo em março e abril, a precipitação total acumulada foi de 4,1 mm.

Eventos atmosféricos como estiagens podem ser intensificados em função da atuação dos fenômenos climáticos como La-Niña, (MONTERO, 2001), pela tendência na variação climática estadual (MINUZZI, 2010) ou pelas mudanças climáticas e condições meteorológicas extremas (MARENCO, 2009). No último ano de condução do experimento a região de Lages apresentou o menor volume de chuva nos últimos 60 anos, impactando de forma negativa a produção de pasto, levando à redução de mais de 50% da produção na região no verão da avaliação (EPAGRI/CEPA, 2020). Este evento interferiu de igual forma para todos os sistemas. O desenvolvimento das espécies forrageiras e seu sistema radicular pode ser limitado pela disponibilidade de água (EPAGRI/CEPA, 2020). Ward, Dunin e Micin (2002) investigaram o impacto dos níveis de água para pastagens perenes e anuais, e sua relação com a produção forrageira e radicular. Eles obtiveram como resultados que as pastagens perenes produziram 1,7 vezes mais biomassa de radicular do que as pastagens anuais, e o comprimento das raízes dos sistemas perenes eram razoavelmente maiores. Os sistemas avaliados por Ward, Dunin e Micin (2002) sofreram estresse hídrico, mas ainda com a carência de água para o ótimo desenvolvimento das espécies, os sistemas perenes tiveram maior

produtividade em comparação aos sistemas anuais. Como foi citado anteriormente processos do sistema radicular como a renovação da raiz, rizodeposição, respiração da raiz e resposta microbiana a estes processos podem levar a variações no nível do carbono no solo (CHENG; KUZUYAKOV, 2005; NEAL *et al.*, 2020).

6.4.5 *Relação C/N, quantidade de raízes e o estoque de C no solo*

Outros fatores associados à produtividade forrageira e ao tipo de cultura que influencia sobre o estoque de carbono no solo são a qualidade dos resíduos vegetais que pode aportar cada sistema de produção e seu respectivo sistema radicular (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; CONANT *et al.*, 2017).

Um dos parâmetros que definem a qualidade do C aportado pelos resíduos culturais, é a relação C/N. Resíduos com uma relação C/N alta (>30) são classificados como de alta qualidade (alta fração lábil), estes tipos de resíduos aportam matéria orgânica de qualidade ao solo sendo benéficos no estoque de carbono (PRESCOTT, 2010; CONANT *et al.*, 2017;) em contrapartida os resíduos com baixa relação C/N (<20) e menores concentrações de compostos, como lignina e taninos, tornam mais fácil e rápida a decomposição da matéria orgânica no solo. Resíduos com elevada relação C/N e altas concentrações de compostos resistentes, tendem a ter taxa de decomposição mais lenta, com baixa liberação de N mineral, o que faz que o carbono tenha maior tempo de permanência no solo (POTTHAST *et al.*, 2010; PAUTASSO *et al.*, 2011; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014).

Nesta pesquisa foi avaliada a relação C/N da biomassa aérea dos sistemas em dois momentos: 21 dias após cada adubação nitrogenada na primavera e no outono (Tabela 5). No verão a relação C/N foi maior para PN (a), seguido de PM (b) e por último os sistemas de PP (c) e PA (c) e para o inverno PN (a) manteve a maior média seguido dos sistemas PM (b), PP (b) e PA (b) os quais não diferenciam entre si. Segundo o exposto, no verão a relação C/N das culturas de todos os sistemas foi classificada como alta (>30). Compostos com alta relação C/N, apresentam menores taxas de decomposição e seus resíduos permanecem por mais tempo no solo, o que significa que os resíduos de PN serão mais resistentes à decomposição com respeito aos de PM e por

último PP e PA. No caso do inverno, a relação C/N só é considerada alta no PN e baixa no PM, PP e PA. Resíduos com maior resistência à decomposição podem ser mais propensos a humificação, contribuindo no estoque de carbono no solo (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; CONANT *et al.*, 2017). A interação da relação C/N da parte aérea das forrageiras avaliadas tiveram interação entre os sistemas por épocas, segundo o teste de Tukey, sendo maior para os sistemas no inverno, isto pode-se explicar desde o ponto de vista de fertilidade e fisiológico, devido à estiagem no primeiro semestre de pesquisa as forragens foram submetidas a um forte estresse hídrico. O déficit hídrico altera a absorção de nutrientes, entre eles o N, P e K, os quais são captados via solução do solo (BATISTA *et al.*, 2018). Associado ao fato de que as plantas investem mais nutrientes em crescimento de raiz, para alcançar zonas mais úmidas do solo, do que em folhas (PEZZOPANE *et al.*, 2015; JÚNIOR *et al.*, 2019).

As raízes têm um papel importante no estoque de carbono no solo, processos como a renovação da raiz, rizodeposição, respiração da raiz e resposta microbiana a estas atividades podem aumentar ou diminuir o estoque de carbono no solo (LANGE *et al.*, 2015; CONANT *et al.*, 2017; ABDALLA *et al.*, 2018; DE AZEVEDO, 2021). As raízes apresentam em média relações C/N mais altas do que a parte aérea, o que também favorece o estoque de carbono no solo (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). Neste estudo foram avaliados o diâmetro (mm), volume (cm³) e a densidade de matéria seca (g/m²) das raízes dos sistemas forrageiros (Tabela 6). O diâmetro (mm) das raízes na PN (a) apresentou a maior média seguido do PM (b) e PA (b) respectivamente, e por último o PP (c). A densidade de matéria seca (g/m³) de raízes foi maior na PN (a) seguido de PP (b) e PM (b) e por último PA (c). O parâmetro volume das raízes (cm³) apresentou diferença significativa em dois grupos, o maior para o PA (a) e PN (a) e o menor para PP (b) e PM (b). De acordo com os resultados, a PN e PP podem ser os sistemas que aportaram maior quantidade de carbono ao solo através do sistema radicular, isto porque essas pastagens são os sistemas com maior massa de raiz (g) por unidade de área (m²) (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). Mapfumo *et al.* (2002) avaliaram os efeitos do pastejo na massa de raízes e no estoque de carbono no solo em pastagens perenes e anuais e observaram que as contribuições globais das pastagens perenes foram 2,7 vezes maiores do que as pastagens anuais. Mapfumo *et al.* (2002) concluíram que pastagens perenes forneceram

uma maior base do sistema radicular que promovem maior estoque de carbono no solo em comparação com pastagens anuais, estes resultados respaldam nossos dados.

Tabela 6 - Diâmetro (mm), volume (cm³) e a densidade de matéria seca (g/m²) das raízes dos sistemas forrageiros; Pastagem Natural (PN), Pastagem Natural Melhorada (PM), Pastagens Perene (PP) e Pastagens Anual (PA).

Sistemas	Diâmetro (mm)	Volume (cm³)	Densidade de matéria seca (g/m²)
PN	0,60 ± 0,06 a	2.899,22 ± 649,08 a	292,44 ± 51,63 a
PM	0,47 ± 0,03 b	1.476,61 ± 522,59 b	134,34 ± 57,76 b
PP	0,45 ± 0,02 b	1.522,58 ± 534,58 b	162,08 ± 70,39 b
PA	0,37 ± 0,03 c	3.416,10 ± 989,65 a	65,27 ± 19,89 c

Médias dos tratamentos seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

6.4.6 Regime de desfolha e carga animal

O regime de desfolha e a carga animal são outros fatores que influenciam no estoque de carbono no solo. O adequado pastoreio incrementa a alocação de C para a biomassa abaixo do solo, aumentando as entradas de C, elevando o estoque de carbono no solo. O pastejo pode aumentar ou diminuir o depósito de C no solo (JACKSON, 2006). Em contrapartida, sistemas superpastejos ou mal manejados tem um precário desenvolvimento radicular (AGUIAR *et al.*, 2006; ABDALLA *et al.*, 2018; LIN *et al.*, 2020), o que por sua vez reduz a capacidade fotossintética das plantas, limitando a absorção de nutrientes e a liberação de exsudatos radiculares no solo (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; WILSON *et al.*, 2018). Isto afeta negativamente a física do solo, gerando alterações no sistema poroso o que desfavorece o estoque de carbono (GLÉRIA *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2020). Ribeiro *et al.* (2020) realizaram um experimento na região do Planalto Catarinense comparando três diferentes intensidades de pastejo (intensivo, adequada e leve, conforme à altura de entrada de pastagem de 10, 20 e 30 cm, respectivamente) mais exclusão, num sistema de plantio direto de aveia preta no inverno e soja no verão. A pesquisa teve os melhores resultados em quanto ao aumento do estoque de carbono

no solo no pastejo adequado (20 cm) com respeito às outras alturas avaliadas. Isto ocorreu devido ao uso do pastejo adequado, respeitando a altura de manejo de cada espécie, que promoveu a manutenção dos perfilhos e da biomassa aérea, sem comprometer o crescimento das raízes. O índice de área foliar foi adequado para captar de forma eficiente a luz solar no processo fotossintético (MCSHERRY; RITCHIE, 2013; ZHOU *et al.*, 2018). A diferença do pastejo intensivo ou superpastejo, onde as grandes quantidades de folhas e perfilhos consumidos pelos animais precisam de maior translocação de nutrientes da raiz, comprometendo assim o crescimento das raízes, que não possuem estruturas de reserva (MCSHERRY; RITCHIE, 2013; ABDALLA *et al.*, 2018; ZHOU *et al.*, 2018). Mas para esta investigação todos os sistemas avaliados receberam um manejo adequado de altura de pastejo, fato pelo qual este fator não influenciou no estoque de carbono entre eles.

6.4.7 Temperatura

O clima é uns dos fatores mais importantes na manutenção, acúmulo e manutenção do carbono no solo (CONANT; PAUSTIAN; ELLIOTT, 2001). Devido à localização dos sistemas avaliados, o clima é temperado, mesotérmico úmido (Cfb) segundo classificação de Köppen e com uma altura superior aos 900 m sobre o nível do mar, os solos sob os sistemas avaliados são considerados solos de altitude. Estes solos são característicos por apresentar alta capacidade de acúmulo de MOS, o que se transforma em estoques de carbono elevados, como resultado da alta precipitação e baixa temperatura, neste ambiente de altitude (STRECK *et al.*, 2002; SILVA; DICK; INDA JUNIOR, 2008; KLUG, 2014). A baixa temperatura afeta negativamente o metabolismo microbiano (SÁ *et al.*, 2017; LUPATINI *et al.*, 2019). A atividade microbiana é menor; a transformação ou degradação da matéria orgânica, em energia para os micro-organismos a qual é liberada como CO₂ na respiração diminui (LUPATINI *et al.*, 2019), sendo umas das principais causas de perda de carbono do solo (LAL; BRUCE, 1999; HEWINS, *et al.*, 2018). Portanto, a temperatura da região pode ser considerada como uns dos fatores mais importantes da manutenção do estoque de carbono dos sistemas avaliados após 5 anos de manejo.

6.4.8 *Tempo de manejo*

A variação do estoque de carbono no solo, a entrada ou a saída do carbono no solo é um processo lento, devido à estabilidade que este se encontra, o tempo de residência do C abaixo do solo é longo (de 1 a > 1000 anos) em ecossistemas de pastagens (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). Em estudos conduzidos por Veloso et al. (2018), encontraram diferença significativa no estoque de carbono no solo em todos os tratamentos após 30 anos de condução de experimento de instaladas onde avaliaram sistemas instalados com plantio convencional e direto. A diferença de Franzluebbbers e Tiedemann (2009) que não encontrou diferença num experimento de 12 anos nos EEUU, associando tais resultados à variabilidade dos dados e ao efeito remanescente do manejo histórico de áreas avaliadas. Conde *et al.*, (2011) estudaram as mudanças no estoque de C sobre um Argissolo de pastagens perenes de com 2, 9 e 18 anos após a implantação, tendo como referência o campo nativo, sem encontrar diferença significativa. Por sua parte Cardoso *et al.* (2016) avaliaram o impacto da conversão do campo nativa em pastagens cultivadas sobre o estoque de carbono no solo, após 3 e 19 anos de manejo, mas foi observado diferença significativa nas pastagens cultivadas com maior tempo de implantação. Alvarez, Berhongaray e Gimenez 2021, não encontraram diferença significativa no estoque de carbono no solo sob sistemas de pastagens naturais na Pampa Argentina, em um experimento de 12 anos de condução, chegando à conclusão que os solos estudados não estão sequestrando carbono. Dessa forma fica evidente que o tempo é um fator relevante no armazenamento de carbono no solo e que estudos de curta duração (5 anos) como este podem não apresentar diferença significativa entre os tratamentos, devido a que o processo de ganho e perda de carbono do solo é lento. Portanto, é necessária uma avaliação a longo prazo sobre os impactos dos sistemas de manejo das pastagens na dinâmica do carbono para se obter resultados mais conclusivos (BURKE *et al.*, 1989; PIÑEIRO *et al.*, 2009; TABOADA *et al.*, 2011; SOUSSANA; LEMAIRE, 2014; CONANT, *et al.*, 2017).

7 CONCLUSÃO

Após 5 anos de manejo, diferentes sistemas pastoris mantiveram seus estoques de carbono similares entre si, sugerindo certa resistência/resiliência na perda/ganho deste componente em solos sob ambientes de altitude subtropical.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos desta natureza devem ser avaliados na implantação dos sistemas, a médio e longo prazo para definir o impacto do manejo sobre o estoque de carbono do solo, nesta região com características distintas do Brasil. Sugere-se realizar estes estudos cada 5 anos, avaliando as diferentes formas de carbono as quais podem ajudar na compreensão da dinâmica do carbono no solo em sistemas de pastagens e incrementando o número de repetições com a finalidade de minimizar erros.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. *et al.* Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 253, p. 62-81, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917304693#!>. Acesso em: 17 mar. 2021.
- ALLEN, Vivien Gore *et al.* An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and forage science**, v. 66, n. 1, p. 2-28, 2011. 10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- ALMEIDA, Leonardo Lemos *et al.* Nitrogênio e Carbono espaço-temporais dissolvidos na precipitação e lixiviado da serrapilheira em duas microbacias Amazônicas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 7, p. 602-618, 2020. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0047>. Disponível em: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/4575>. Acesso em: 15 mai. 2021.
- ÁLVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Clayton-Alcarde-Alvares/publication/263088914_Koppen%27s_climate_classification_map_for_Brazil/links/5f4a615b299bf13c5050b43b/Koepkens-climate-classification-map-for-Brazil.pdf. Acesso em: 10 jan. 2021.
- ALVAREZ, Roberto; BERTHONGARAY, Gonzalo; GIMENEZ, Analía. Are grassland soils of the pampas sequestering carbon?. **Science of the Total Environment**, vol. 763, p. 142978. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142978> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720365086>. Acesso em: 14 ago. 2021.
- ARAÚJO, A. Á. **Melhoramento das pastagens**. 5. ed. Porto Alegre: Sulina, 1978. p 208
- ARAÚJO, A. Á. **Principais gramíneas do Rio Grande Do Sul**. 3. ed. Porto Alegre: Sulina, 1971. 255p.
- ARCHER, J. R.; SMITH, P. D. The relation between bulk density, available water capacity, and air capacity of soils. **Journal of Soil Science**, v. 23, n. 4, p. 475-480, 1972. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1972.tb01678.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.1972.tb01678.x>. Acesso em: 12 fev. 2021.

ARRUDA, D. *et al.* Métodos de avaliação de massa de forragem em pastagens de capim-estrela submetidas a intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.11, nov, 2011. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext & pid=S0103-84782011001100025](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011001100025). Acesso em: 13 abril. 2020.

BABUJIA, L. C. *et al.* Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2174-2181, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.08.013>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071710003019?casa_token=j639xqbi0u0AAAAA:kMNMFUuUqZUFTjsS422_SPbdAPdQ4Po2_Nw28sLCLXZnn01U8N1PzeHA-xUDpHZq2-TpsnUo7ng. Acesso em: 12 fev. 2021.

BATISTA, Marcelo Augusto *et al.* **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. Hortaliças-fruto, p. 113-161, 2018. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/bv3jx/pdf/brandao-9786586383010-06.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2021.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do solo** - Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, 2:159- 170, 2008.

BAYER, Cimélio *et al.* Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, p. 55-118, 2011.

BAYER, Cimélio *et al.* Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and tillage research**, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00090-8). Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198700000908?casa_token=z_S Tf6GZY6cAAAAA:BtPN3wExk2dJ2H1aT-7CgnvhH_7L72YhOw7UGiciH6DyxFDcLDr74pXpouEVUjr7jUT4FKNz6nY. Acesso em: 25 fev. 2021.

BEARE, Mike H. *et al.* Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional-and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 3, p. 787-795, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800030021x>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1994.03615995005800030021x>. Acesso em: 12 fev. 2021.

BERON GARAY, Gonzalo; ALVAREZ, Roberto. Soil carbon sequestration of Mollisols and Oxisols under grassland and tree plantations in South America-A review. **Geoderma Regional**, v. 18, p. e 00226, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00226>. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009419300033?casa_token=qfzEhFpYqGYAAAAA:0NB0SYgg93eF1hxq_FGPv88Mne_35NjKXjYVIWN8sX_PUtCLnImO20-xAV8Vi97JxUeAi1Lldoc. Acesso em: 17 fev. 2021.

BERNOUX, Martial *et al.* Brazil 's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.8880>.

Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj2002.8880>.

Acesso em: 15 mai. 2021.

BERTOL, Ildegardis *et al.* Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 3, p. 581-586, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300025>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162003000300025&script=sci_arttext. Acesso em: 12 fev. 2021.

BIRD, Simon B. *et al.* Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, n. 3, p. 445-455, 2002.

[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00222-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00222-6). Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749101002226?casa_token=Iz5jxE9zWnQAAAAA:B59cJP_LvxQ569OPb7CiP3fylEwhl85eNVxltuGsVDxmXxBuf5wONL_YP3CuO4u0_MEVTolOEpd0. Acesso em: 29 abr. 2021.

BOMFIM, Erika Ramos Prazeres *et al.* Efeito do tratamento físico associado à adubação em pastagem degradada de braquiária, nos teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 4, p. 912-920, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000400025>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-0542003000400025&script=sci_arttext

Acesso em: 1 mar. 2021.

BORTOLINI, Diego *et al.* Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages - SC, Brasil. v. 15, n. 1, p. 60-67, 2016.

<https://doi.org/10.5965/223811711512016060>. Disponível em:

<https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/223811711512016060>. Acesso em: 10 mar. 2021.

BRANDENBURG, B. Associações vegetais herbáceas. In: **Melhoramento e manejo de pastagens naturais no Planalto Catarinense**. Florianópolis: Epagri, 2004. p. 71-83.

BURKE, Ingrid C. *et al.* Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in US grassland soils. **Soil science society of America journal**, v. 53, n. 3, p. 800-805, 1989. <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300030029x>. Disponível em:

<https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1989.03615995005300030029x>. Acesso em: 12 abr. 2021.

CAMPOS, Ben-Hur Costa de *et al.* Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300016>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000300016 & script= sci_abstract & tlng=es. Acesso em: 12 fev. 2021.

CANNELL, M. G. R. *et al.* National inventories of terrestrial carbon sources and sinks: the UK experience. **Climatic Change**, v. 42, n. 3, p. 505-530, 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005425807434>. Acesso em: 29 abr. 2021.

CANTARUTTI, R.B. NASCIMENTO Jr., D. & COSTA, O.V. Impacto animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: **MATTOS, W.R.S., ed. A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba, FEALQ, 2001. p.826-837.

CARDOSO, Evaldo Luis *et al.* Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 1028-1035, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900013>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2010000900013 & script= sci_arttext & tlng=pt. Acesso em: 30 mar. 2021.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, Siu Mui; NEVES, Maria Cristina Prata. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64215910/elke%20-%20microbiologia%20do%20solo-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1623692928&Signature=SzK~1lYN5cfHE-Dh4spmtAbtGt7m4jqQuDEabEVZsBe1G~fW6iCHOlgGPttQLes6VM~hK8ZxTlqxD5qUC TXj43AjEEryxM4nCFOR9h9UJjw9bsHkbHw5uF-gpOzMKZ~ewOut9CqhsG7c80FYOKPXR1XVTn70aY0~HLRHvqT9PZHc2YOwePVoXh3845vaGgK~gemHqcecrpxGwNVLNMIv5KepypQJdns~A2FXeUJR2I8u1XE977m9KuH7OuF6EvoSw-B1UTZmM3QzLw6PSbwwlfWoliR862~rgrW5E~Q-U3lPkf6Ax40p8P0WtzUu9ArxQIDGuacWaAUs3BfedmBdmw &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em: 30 abr. 2021.

CARTER, M. R. *et al.* Organic matter and sustainability. In: RESS, R.M.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A., (Eds). **Sustainable management of soil organic matter**. London: CABI Publishing, p 9-41 2001. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ACYCc7Hlnq0C&oi=fnd&pg=PR11&dq=RESS,+R.M.%3B+BALL,+B.C.%3B+CAMPBELL,+C.D.%3B+WATSON,+C.A.,+\(Eds\).+Sustainable+management+of+soil+organic+matter&ots=fV3XNyRMui&sig=P8aDMCpiTGN0vPbtQMvFrUaPGPGIE#v=onepage & f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ACYCc7Hlnq0C&oi=fnd&pg=PR11&dq=RESS,+R.M.%3B+BALL,+B.C.%3B+CAMPBELL,+C.D.%3B+WATSON,+C.A.,+(Eds).+Sustainable+management+of+soil+organic+matter&ots=fV3XNyRMui&sig=P8aDMCpiTGN0vPbtQMvFrUaPGPGIE#v=onepage & f=false). Acesso em: 2 fev. 2021.

CARTER, M. R.; GREGORICH, E. G. Carbon and nitrogen storage by deep-rooted tall fescue (*Lolium arundinaceum*) in the surface and subsurface soil of a fine sandy loam in eastern Canada. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 136, n. 1-2, p. 125-132, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.12.005>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788090900365X?casa_token=oPbd0kFc6QEAAAAA:Bo46M7Q55keqzh0o_wzvFrkegKXQGt9hAdUZvN614VpB3Dp4L-UL05o9c78MNRtXmnZJXY0LDF8. Acesso em: 29 abr. 2021.

CAVALCANTE, Ana Clara; CAVALLINI, Maria Cecilia; LIMA, N. R. C. B. **Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras**. Embrapa Caprinos e Ovinos, Brasília, DF – Brasil, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPC-2010/23051/1/doc89.pdf>. Acesso em: 15 jan 2021.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB do Agronegócio Brasil**, 2020. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 1 mai. 2020.

CERRI, C. C. et al. Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America. **Carbon sequestration in soils of Latin America**, Nova York, Haworth, p. 41-47, 2006. 20063161581. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20063161581>. Acesso em: 12 fev. 2021.

CHENG, Weixin; KUZYAKOV, Yakov. Root effects on soil organic matter decomposition. **Roots and soil management: Interactions between roots and the soil**, v. 48, p. 119-143, 2005. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr48.c7>. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr48.c7>. Acesso em: 31 jan. 2021.

CHIVENGE, Pauline *et al.* Comparison of organic versus mineral resource effects on short-term aggregate carbon and nitrogen dynamics in a sandy soil versus a fine textured soil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 140, n. 3-4, p. 361-371, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.004>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880910003191?casa_token=DcQUicIKesIAAAAA:AgNR_QPPyg6u_6kkmkPiesa1VknkSxRPenEmclUYAyO_Q6kSOCry1YeoSZnC3ttdB6ztnoHp9_Q. Acesso em: 19 fev. 2021.

CONANT, Richard T. *et al.* Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. **Ecological Applications**, v. 27, n. 2, p. 662-668, 2017. <https://doi.org/10.1002/eap.1473>. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/eap.1473>. Acesso em: 29 abr. 2021.

CONANT, Richard T.; PAUSTIAN, Keith; ELLIOTT, Edward T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological applications**, v. 11, n. 2, p. 343-355, 2001. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0343:GMACIG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2). Disponível em: [https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0343:GMACIG\]2.0.CO;2?casa_token=JE8zdJI_tpMAAAAA:BBzVrWtJBaRZ6Kv-YHlqXU9imnbZa8hH88V2Sf_2MPT12iSvQLVOxkcr6KrLZXOR2vL0qzY4FvTsL4M](https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2?casa_token=JE8zdJI_tpMAAAAA:BBzVrWtJBaRZ6Kv-YHlqXU9imnbZa8hH88V2Sf_2MPT12iSvQLVOxkcr6KrLZXOR2vL0qzY4FvTsL4M). Acesso em: 29 abr. 2021.

CONTE, Osmar *et al.* Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000026>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2011001000026 & script=sci_abstract & tlng=es. Acesso em: 30 mar. 2021.

CÓRDOVA, U. de À. *et al.* **Melhoramento e manejo de pastagens naturais no Planalto Catarinense**. Epagri, Lages - SC: Grafine, v. 1, 2004, p. 274.

COSGROVE, Gerald P. *et al.* Persistence of perennial ryegrass, tall fescue and cocksfoot following sequential annual sowings: pasture yield, composition and density in three establishment years under cattle grazing in Waikato. **Journal of New Zealand Grasslands**, v. 82, p. 149-159, 2020. <https://doi.org/10.33584/jnzg.2020.82.451>. Disponível em: <https://www.nzgajournal.org.nz/index.php/JoNZG/article/view/451>. Acesso em: 29 abr. 2021.

COSTA, N. de L. *et al.* Fisiologia e manejo de plantas forrageiras. Embrapa Rondônia- Documentos (INFOTECA-E), 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/916005>. Acesso em: 29 jan. 2021.

COSTA, Falberni de Souza *et al.* Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100030>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832008000100030 & script=sci_abstract & tlng=es. Acesso em: 12 abr. 2021.

COSTA, Oldair Vinhas *et al.* Soil carbon stocks under pasture in coastal tableland areas in southern Bahia State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1137-1145, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500007>. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103028441>. Acesso em: 29 abr. 2021.

COTRUFO, M. Francesca *et al.* The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter?. **Global change biology**, v. 19, n. 4, p. 988-995, 2013. <https://doi.org/10.1111/gcb.12113>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12113>. Acesso em: 9 jan. 2021.

CRUZ, Pablo *et al.* Leaf traits as functional descriptors of the intensity of continuous grazing in native grasslands in the south of Brazil. **Rangeland Ecology & Management**, v. 63, n. 3, p. 350-358, 2010. <https://doi.org/10.2111/08-016.1>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1550742410500289>. Acesso em: 12 jan. 2021.

DA SILVA, J. E. *et al.* Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 103, n. 2, p. 357-363, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.007>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880903004444?casa_token=hDV_d1wK550AAAAA:iF3-aqPbUgkj97MHIBD8PRHEOoWCjVJmAy_zi6sBv4cJSUw6wwwmOG2vNb0E2000LQuR1pyQQil. Acesso em: 29 jan. 2021.

DE AGUIAR, Maria Ivanilda *et al.* Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 3, p. 270-278, 2006. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/165>. Acesso em: 12 fev. 2021.

DE AZEVEDO TEZOLINA, Thiara *et al.* Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de produção agropecuária. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e5110111278-e5110111278, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11278>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/11278/10212>. Acesso em: 12 fev. 2021.

DE FACCIO CARVALHO, Paulo César; BATELLO, Caterina. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: the natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, v. 120, n. 1-2, p. 158-162, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.04.012>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141308001285?casa_token=KZRszxPC-DkAAAAA:BdfcV7DNYO6urS5nE5R0XCobaLekIRjhA9qUykZUe-NweWPdS-JwplcHXjq4XOobjt9p5zwLZas. Acesso em: 24 jan 2021.

DE MORAES SÁ, João Carlos *et al.* Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015. <https://doi.org/10.1002/ldr.2218>. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.2218?casa_token=1mXtCleZjc8AAAAA%3AhKhzoJA8b7Xvnjh8AwWpvYosbjdyHe5OPrjL-4jNJ28CGw5LscSikJSO6Rm2aSwo7-BeUeSGHUqRE4. Acesso em: 19 fev. 2021.

DE MORAES SÁ, João Carlos *et al.* Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment international**, v. 98, p. 102-112, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.020>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016306341?casa_token=hmX3NJwp7voAAAAA:sMQGCvVs8Nx74_okVbOpl4QvFM23qhFe_lmDUscmDoMtrJ-S8Q-ganLkWwYCwCwrLI2IEvd2YA. Acesso em: 15 fev. 2021.

DE SÁ SILVA, Roberto Carlos *et al.* Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais**, <http://www.agro.unitau.br/dspace>. p. 1-13, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Silva-71/publication/268417421_Os_indicadores_fisicos_quimicos_e_biologicos_da_qualidad_e_do_solo_e_da_sustentabilidade_dos_ambientes_naturais/links/564bcfd808ae020ae9f84f91/Os-indicadores-fisicos-quimicos-e-biologicos-da-qualidade-do-solo-e-da-sustentabilidade-dos-ambientes-naturais.pdf Acesso em: 19 mar. 2021.

DLAMINI, Phesheya; CHIVENGE, Pauline; CHAPLOT, Vincent. Overgrazing increases soil organic carbon stocks the most under dry climates and low soil pH: A meta-analysis shows. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 258-269, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.026>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788091630038X?casa_token=vF752w0FrX0AAAAA:BgrBBaQG_2HIEbiZegzUF7Ru_XAdMWrbQD3Bfvr5uIDnBk2Mwhg9t-fJ_3M2kEXZZp_fX2E41XE. Acesso em: 19 fev. 2021.

DORAN, J. W.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. **Soil and Tillage Research**, v. 49, n. 1-2, p. 3-18, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00150-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00150-0). Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198798001500?casa_token=FhWaFuz2V04AAAAA:gM_7MzNXh_GrmEmpdDZRjOL93KZrWSCMHbWXTNOUMIXTbGalm0cBP9Jp3gmb7FYDx4rZN0ZRvvk. Acesso em: 17 fev. 2021.

DORAN, John W.; PARKIN, Timothy B. Defining and assessing soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 1-21, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaspecpub35.c1>. Acesso em: 21 fev. 2021.

ELLERBROCK, R.H.; HÖHN, A.; GERKE, H.H. FT-IR Studies on soil organic matter from long - term field experiments. In: RESS, R.M.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A., (Eds). **Sustainable management of soil organic matter**. London: CABI Publishing, 2001. p. 54. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ACYCc7Hlnq0C&oi=fnd&pg=PR11&dq=RESS,+R.M.%3B+BALL,+B.C.%3B+CAMPBELL,+C.D.%3B+WATSON,+C.A.,+\(Eds\).+Sustainable+management+of+soil+organic+matter&ots=fV3XNyRMui&sig=P8aDMCpiTGN0vPbtQMvFrUjapglE#v=onepage&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ACYCc7Hlnq0C&oi=fnd&pg=PR11&dq=RESS,+R.M.%3B+BALL,+B.C.%3B+CAMPBELL,+C.D.%3B+WATSON,+C.A.,+(Eds).+Sustainable+management+of+soil+organic+matter&ots=fV3XNyRMui&sig=P8aDMCpiTGN0vPbtQMvFrUjapglE#v=onepage&f=false). Acesso em: 2 fev. 2021.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995. <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.4141/cjss95-075>. Acesso em: 12 fev. 2021.

EMBRAPA, E. Serviço nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 212 p

EVRENDILEK, Faith; CELIK, Ismail; KILIC, Seref. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. **Journal of arid environments**, v. 59, n. 4, p. 743-752, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.03.002>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196304000643?casa_token=ghEyzel-Cr8AAAAA:DBTM_8lwrt3IR7TZg0gO-ETMvLR0RXZ2OIQfyYafLsjTz7ImyezBwUFP54WxOI6sVUwrZWVFmvM. Acesso em: 7 mar. 2021.

FAO. *Global forest resources assessement 2005: progress towards sustainable forest management*. Roma, 2006. 320 p.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Soil-profile organic carbon and total nitrogen during 12 years of pasture management in the Southern Piedmont USA. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 129, n. 1-3, p. 28-36, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.06.013>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880908002053?casa_token=8Qb_WHWHJkQAAAAA:rL-xl4uaTj5SILHzoltxgf_VLTgioqaCWmo-m3iukpBxBIRKH8ICy0emvwAF5ehEVDLmOa1nfbY. Acesso em: 15 mai. 2021.

GARNIER, E. Growth analysis of congeneric annual and perennial grass species. **Journal of Ecology**, p. 665-675, 1992. <https://doi.org/10.2307/2260858>. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/2260858?casa_token=rhZRNIUj6Z0AAAAA%3AdN4ODwruEJjF5imNpyLbRI0hnlJDWiw8SGbzoTM_PVoONunohUsqqY-xCrp5xQGo7irNozDylJHxugwhyllxcydBs-wiM1zBgaqJZ_X_5ZQzBrEp6AsW&seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 29 abr. 2021.

GEE, G.W. and J.W. BAUDER. 1986. Particle-size Analysis. p 383-411 In **A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis Part 1**. Soil Science Society of America Book Series 5, Madison, Wisconsin, USA

GLÉRIA, A. A. et al. Produção de bovinos de corte em sistemas de integração lavoura pecuária. **Archivos de zootecnia**, v. 66, n. 253, p. 141-150, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/495/49551221021.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

GOTARDO, Rafael *et al.* Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina. **Geosul**, v. 33, n. 67, p. 253-276, 2018. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n67p253>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2018v33n67p253>. Acesso em: 10 jan. 2021.

GREENWOOD, K. L.; MACLEOD, D. A.; HUTCHINSON, K. J. Long-term stocking rate effects on soil physical properties. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Australia, v. 37, n. 4, p. 413-419, 1997. <https://doi.org/10.1071/EA96131>. Disponível em: <https://publications.csiro.au/publications/publication/Procite:10e77d88-9609-47c7-9ebf-6d2241b0bbde>. Acesso em: 3 mar. 2021.

GREENWOOD, K. L.; MCKENZIE, B. M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Australia, v. 41, n. 8, p. 1231-1250, 2001. <https://doi.org/10.1071/EA00102> Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/AN/EA00102>. Acesso em: 3 mar. 2021.

HAMBLIN, Ann P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 95-158, 1986. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60674-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60674-4). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308606744>. Acesso em: 26 mar. 2021.

HEWINS, Daniel B. *et al.* Grazing and climate effects on soil organic carbon concentration and particle-size association in northern grasslands. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2018. 10.1038/s41598-018-19785-1. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-19785-1.pdf> Acesso em: 8 mar. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate change 2001: The scientific basis. Cambridge, Cambridge University, 2001, 881p.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. v. 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>. Acesso em: 13 mai. 2020.

JACKSON, Randall D. *et al.* Spring-water nitrate increased with removal of livestock grazing in a California oak savanna. **Ecosystems**, v. 9, n. 2, p. 254-267, 2006. doi:10.1007/s10021-005-0166-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-005-0166-7>. Acesso em: 29 abr. 2021.

JONES, David L.; HODGE, Angela; KUZYAKOV, Yakov. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. **New phytologist**, Cambridge v. 163, n. 3, p. 459-480, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01130.x>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-8137.2004.01130.x>. Acesso em: 21 fev. 2021.

JONES, Michael B.; DONNELLY, Alison. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. **New Phytologist**, Cambridge. v. 164, n. 3, p. 423-439, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01201.x>. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-8137.2004.01201.x>. Acesso em: 12 fev. 2021.

JÚNIOR, George do Nascimento Araújo *et al.* Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **Pubvet**, v. 13, p. 148, 2019. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n01a241.1-10>. Disponível em: <http://www.pubvet.com.br/artigo/5408/estresse-hiacutedrico-em-plantas-forrageiras-uma-revisatildeo>. Acesso em: 10 mai. 2021.

KARLEN, Douglas L. *et al.* Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x> Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>. Acesso em: 18 fev. 2021.

KAY, B.D.; MUNKHOLM, L.J. Management-induced soil structure degradation - organic matter depletion and tillage. In: SCHJONNING, P.; ELMHOLT, S.; CHRISTENSEN, B.T. (Eds.). **Managing soil quality: challenges in modern agriculture**. Wallingford: CABI International, p. 185-198, 2004.

KIEHL, Edmar Jose. **Manual de Edafologia; relações solo-planta**. Ceres, 1979, 262p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 26, n. 4, p. 857-867, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000400003>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832002000400003&script=sci_arttext. Acesso em: 2 fev. 2021.

KLEIN, Vilson Antonio. **Física do solo**. Ed. da UPF, 2008.

KLUG, I. **Estoque e frações granulométricas do carbono em solo de altitude do Rio Grande do Sul sob diferentes vegetações**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC, 2014.

LAL, Ratan; BRUCE, J. P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science & Policy**, v. 2, n. 2, p. 177-185, 1999. [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(99\)00012-X](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(99)00012-X). Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146290119900012X?casa_token=0nFSkx92cXEAAAAA:1Tug7Tif4VIGspz99m7zrdYPhs9dlg4Y4DarHbKjYsWYq6FIG_igdQ0DGuWn7rDwO8mTkZAdoi4. Acesso em: 12 abr. 2021.

LAL, Rattan *et al.* **Methods for assessment of soil degradation**. CRC press, 2020. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ISAJEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=Lal,+R.%3B+Kimble,+J.%3B+Follet,+R.+F.+Methods+for+Assessment+of+Soil+Degradation&ots=AphqlO5Jfn&sig=DygQsVlby2xjqvWkcDeUfza_6d0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 12 fev. 2021.

LAL, Rattan. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004. [10.1126/science.1097396](https://doi.org/10.1126/science.1097396). Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/304/5677/1623.abstract>. Acesso em: 19 fev. 2021.

LANGE, Markus *et al.* Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. **Nature communications**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2015. DOI: 10.1038/ncomms7707. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms7707.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.

LAVARELLO HERBIN, Agustina; GOLLUSCIO, Rodolfo Ángel; RODRIGUEZ, Adriana Mabel. Weed effects on the establishment and nutritive value of pastures with different annual/perennial ratio. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 3, n. 1, p. e20121, 2020. <https://doi.org/10.1002/agg2.20121>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agg2.20121>. Acesso em: 29 abr. 2021.

LIN, Dong *et al.* Time in pasture rotation alters soil microbial community composition and function and increases carbon sequestration potential in a temperate agroecosystem. **Science of The Total Environment**, v. 698, p. 134233, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134233>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719342160?casa_token=t1Y12UkLS-QAAAAA:KUIWBzedwPprYHmWwNMBYNPFLYqgPMNIMVVUZDZZPUuNqtJMz_tdwnpd79atLoPdqd9K9aM12Q8. Acesso em: 12 jan. 2021.

LOPES, Marília Lazzarotto Terra *et al.* Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1499-1506, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000096>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782009000500030&script=sci_arttext. Acesso em: 29 jan. 2021.

LUCAS, Maik *et al.* Soil structure formation along an agricultural chronosequence. **Geoderma**, v. 350, p. 61-72, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.04.041>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706118321438?casa_token=SzlzUoms30AAAAAA:3XwN3bFLWcSWobl6qZCQHqvXFRd73IJ0Jvb263_9hGIQsmECm54FjishrgODCQghYkVsPxCM8s. Acesso em: 29 abr. 2021.

LUPATINI, Manoeli *et al.* Moisture is more important than temperature for assembly of both potentially active and whole prokaryotic communities in subtropical grassland. **Microbial ecology**, v. 77, n. 2, p. 460-470, 2019.

<https://doi.org/10.1007/s00248-018-1310-1>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-018-1310-1>. Acesso em: 15 mai. 2021.

LÜTZOW, M. v *et al.* Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions—a review. **European journal of soil science**, v. 57, n. 4, p. 426-445, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x>. Disponível em:

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x?casa_token=2gBhxZiAhe4AAAAA%3Auynq0vSuNGuARFoP7IVHJTrSnW9o8o_FQc1txnZoCLh-hx3AB-RG31fgdTlW7SHN2McRXDdcFd-iG8. Acesso em: 17 fev. 2021.

MACHADO, luís Armando Zago. **Manejo de Pastagem Nativa**. Guaíba: Agropecuária, 1999 p.17-21

MAPFUMO, E. *et al.* Grazing impacts on litter and roots: Perennial versus annual grasses. **Journal of Range Management**, 55(1), 16-22. 10.2307/4003258. 2002.

Disponível em: <https://repository.arizona.edu/handle/10150/643620>. Acesso em: 29 abr. 2021.

MARENGO, José A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. v. 24,

2009. Disponível em: http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf
Acesso em: 10 jan. 2021.

MARTINS, Leandro. *et al.* Produção de forragem e componentes morfológicos em pastagem de coastcross consorciada com amendoim forrageiro. **R. Bras. Zootec.**

Viçosa, v.38, n.5, Mai 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000500002>.

Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982009000500002 . Acesso em: 13 abril. 2020.

MCSHERRY, Megan E.; RITCHIE, Mark E. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. **Global change biology**, v. 19, n. 5, p. 1347-1357,

2013. <https://doi.org/10.1111/gcb.12144>. Disponível em:

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12144?casa_token=x1Y6-g56800AAAAA%3APPA98pnpVKBMEFC79zL2DLLhgohOE3Q2VgVT8VISC4WoNw0UPcRHqeRPqzFrY9V0ITBjrULCvn5rqOw. Acesso em: 12 fev. 2021.

MCTIC - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E

COMUNICAÇÕES. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, 2017. Disponível em: <http://educaclima.mma.gov.br/wp-content/uploads/2019/08/Estimativas-Anuais-4-2017.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2020.

MEZZALIRA, Jean Carlos *et al.* Produção animal e vegetal em pastagem nativa manejada sob diferentes ofertas de forragem por bovinos. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1264-1270, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000039>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782012005000039&script=sci_arttext. Acesso em: 15 jan. 2021.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do solo - Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2:1-5, 2008.

MINUZZI, Rosandro B. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1288-1293, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662010001200006&script=sci_abstract&tlng=es. Acesso em: 10 jan. 2021.

MITRA, Sudip; WASSMANN, Reiner; VLEK, Paul LG. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. **Current Science**, v. 88, n. 1, p. 25-35, 2005. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24110090?seq=1>. Acesso em: 10 jan. 2021.

MONTAGNER, Denise Baptaglin *et al.* Manejo da pastagem de milho para recria novilhas de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, nov. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000800031>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000800031. Acesso em: 13 abril. 2020.

MONTEIRO, Maurici Amantino. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, Florianópolis v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/14052>. Acesso em: 10 jan. 2021.

MOOJEN, Eduardo Londero; MARASCHIN, Gerzy Ernesto. Potencial produtivo de uma pastagem nativa do Rio Grande do Sul submetida a níveis de oferta de forragem. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 127-132, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000100022>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782002000100022&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 12 jan. 2021.

MORAES, Ytamar J. B. de. **Forrageiras conceitos, formação e manejo**. Guaíba: Agropecuária, 1995 p.23-27

NABIGER, C; PINTO, C. E; BOLDRINI I. I. Os Campos Sulinos Im; **Ecossistemas de Pastagens Nativas, Forragicultura: Ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**, 1. ed. p 197-222, 2013.

NABINGER, C.; DE FACCI CARVALHO, P. C. Ecofisiología de sistemas pastoriles: aplicaciones para su sustentabilidad. **Agrociencia-Sitio en Reparación**, v. 13, n. 3, p. 18-27, 2009. Disponível em: <http://164.73.52.4/~agrociencia/index.php/directorio/article/view/232>. Acesso em: 12 jan. 2021.

NEAL, Andrew L. *et al.* Soil as an extended composite phenotype of the microbial metagenome. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67631-0>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-67631-0.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.

OJEDA, Jonathan Jesús *et al.* Forage yield, water-and solar radiation-productivities of perennial pastures and annual crops sequences in the south-eastern Pampas of Argentina. **Field Crops Research**, v. 221, p. 19-31, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.010>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429017316957?casa_token=X5ETvwWjFY0AAAAA:btAqDbuyMc63O5-aOH07qj1VRcsVijl11dylICOU1qfeKK1B0BSof-nS-2bbp76ya1Ms52yy5l. Acesso em: 29 abr. 2021.

OLSON, Kenneth R. *et al.* Impact of soil erosion on soil organic carbon stocks. **Journal of Soil and water Conservation**, v. 71, n. 3, p. 61A-67A, 2016. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.3.61A>. Disponível em: <https://www.jswconline.org/content/71/3/61A.short>. Acesso em: 12 fev. 2021.

OMETTO, José C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.

ORGILL, Susan Elizabeth *et al.* Removing grazing pressure from a native pasture decreases soil organic carbon in southern New South Wales, Australia. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 2, p. 274-283, 2018. <https://doi.org/10.1002/ldr.2560>. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.2560?casa_token=wSixOX4oIMQAAA%3A3LUegFlnRqvcKax2TwgGkfsArFrnRTgPK_oBb6fC78VbWzb11WoIMnYbqclUK3FPy3btLvzYraQVJvY. Acesso em: 14 abr. 2021.

ORGILL, Susan Elizabeth *et al.* Removing grazing pressure from a native pasture decreases soil organic carbon in southern New South Wales, Australia. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 2, p. 274-283, 2018. <https://doi.org/10.1002/ldr.2560>. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.2560?casa_token=wSixOX4oIMQAAA%3A3LUegFlnRqvcKax2TwgGkfsArFrnRTgPK_oBb6fC78VbWzb11WoIMnYbqclUK3FPy3btLvzYraQVJvY. Acesso em: 14 abr. 2021.

PANDOLFO, Cristina *et al.* Atlas climatológico do estado de Santa Catarina. **Florianópolis: Epagri**, Florianópolis v. 1, 2002. Disponível em: https://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/atlasClimatologico/atlasClimatologico.pdf. Acesso em: 10 jan. 2021.

PEZZOPANE, Cristiana de Gaspari *et al.* Hydric deficiency in genotypes of *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 871-876, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130915>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/5bqrGZsWLZT9sC4HPZz3vCd/?lang=pt>. Acesso em: 27 abr. 2021.

PILLAR, V. de P. *et al.* **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 403p. Disponível em: <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf> Acesso em: 16 jan 2021.

PIMENTEL, Róberson Machado *et al.* Ecofisiologia de plantas forrageiras. **Pubvet**, Maringá - Paraná brasil v. 10, p. 636-720, 2016. Disponível em: <https://www.pubvet.com.br/artigo/3013/ecofisiologia-de-plantas-forrageiras>. Acesso em: 15 jan 2021.

PIÑEIRO, Gervasio *et al.* Grazing effects on belowground C and N stocks along a network of cattle exclosures in temperate and subtropical grasslands of South America. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 23, n. 2, 2009. <https://doi.org/10.1029/2007GB003168>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007GB003168>. Acesso em: 12 jan. 2021.

PIÑEIRO, Gervasio *et al.* Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. **Rangeland Ecology & Management**, v. 63, n. 1, p. 109-119, 2010. <https://doi.org/10.2111/08-255.1> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1550742410500083>. Acesso em: 20 fev. 2021.

PIÑEIRO, Gervasio; PARUELO, Jose Maria; OESTERHELD, Martin. Potential long-term impacts of livestock introduction on carbon and nitrogen cycling in grasslands of Southern South America. **Global Change Biology**, v. 12, n. 7, p. 1267-1284, 2006. 10.1111/j.1365-2486.2006.01173.x. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2486.2006.01173.x?casa_token=P5pdjghGTPcAAAAA%3A1JK0pMfit43F3k6Kx7O5RIQEWfhl4NsgsgZhpBu0mHT7iIcH36PN_nc6fb6ks_Vlgo_4-1cJLjou2CA. Acesso em: 5 mai. 2021.

PINHEIRO, Érika Flávia Machado *et al.* Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter. **Agricultural Systems**, v. 132, p. 35-39, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.008>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X14001103?casa_token=CWyV84UxhdYAAAAA:TN9tFXQdfgV4fGAuGao-eiqpXCTdTvnKpFBeD3Q8OFDJipcDQeS_PSVckEXf8u7BmRs5YbFHw. Acesso em: 12 fev. 2021.

PINTO, H. Adaptação do setor agrícola brasileiro, p34, Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS, Disponível em: http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf Acesso em: 12 fev. 2021

PITUELLO, Chiara *et al.* Nano to macro pore structure changes induced by long-term residue management in three different soils. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 217, p. 49-58, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.029>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880915301353?casa_token=yGOluSL84HwAAAAA:egINaEa5t8U97VmP9IFSyoozWVrX9WIO3aqVxe_k27UToSMGfa-AvRkXA7zWZU5s73bsnJLqdYM. Acesso em: 20 mar. 2021.

POTES, Mariana da Luz *et al.* Matéria orgânica em Neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 23-32, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100003>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832010000100003&script=sci_arttext&tIng=pt. Acesso em: 12 fev. 2021.

POTTHAST, K.; HAMER, U.; MAKESCHIN, F. Impact of litter quality on mineralization processes in managed and abandoned pasture soils in Southern Ecuador. **Soil Biology Biochemistry**, [Oxford], v. 42, p. 56-64, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.09.025>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071709003629?casa_token=qUgIPuYIP54AAAAA:psbhGi6fid9CE-fmb9qm_D4tOv2XQrIMB_uQBxpa2Abt1U0ez7NQh_ehkjumJqAPzv_mth2qak. Acesso em: 18 fev. 2021.

PRESCOTT, Cindy E. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils?. **Biogeochemistry**, v. 101, n. 1, p. 133-149, 2010. DOI 10.1007/s10533-010-9439-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-010-9439-0>. Acesso em: 10 fev. 2021.

PUTTASO, A. *et al.* Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 89, n. 2, p. 159-174, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9385-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-010-9385-1>. Acesso em: 27 jan. 2021.

RANGEL, Otacílio José Passos; SILVA, Carlos Alberto. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000600037&script=sci_arttext. Acesso em: 19 fev. 2021.

RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, v. 42, n. 3-4, p. 259-280, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2004.10.010>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022489805000108?casa_token=rtIRLhp0OZAAAAAA:uyKrDFSqNCi8N_JkOgCjibUehOAxIHJtZ-WmqP4wYYGMfxmbIXA27cW6wjwCUOeT4LYaXtLPbE. Acesso em: 19 jan. 2021.

RAUBER, Lucas Raimundo *et al.* Comportamento físico-hídrico de um cambissolo húmico sob pastagem natural no planalto catarinense. In: **coletânea “a conferência da terra: línguas, ritos e protagonismos nos territórios indígenas”** Boa Vista: EDUFRR . 2020. p. 171-179. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luciano-Franca/publication/340350642_DINAMICA_DA_COBERTURA_DO_SOLO_E_DESERTIFICACAO_EM_GILBUES_PIAUI/links/5e8497d6a6fdcca789e5f7c7/DINAMICA-DA-COBERTURA-DO-SOLO-E-DESERTIFICACAO-EM-GILBUES-PIAUI.pdf#page=171. Acesso em: 3 abr. 2021.

RAUBER, Lucas Raimundo *et al.* Soil physical properties in a natural highland grassland in southern Brazil subjected to a range of grazing heights. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 319, p. 107515, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107515>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788092100219X?dgcid=author>. Acesso em: 17 jun. 2021.

REICHERT, J. M.; *et al.* Mecânica do solo. In: VAN LIER, Q. J. Física do solo. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, p.29-102, 2016.

RIBEIRO, Ricardo H. *et al.* Managing grazing intensity to reduce the global warming potential in integrated crop–livestock systems under no-till agriculture. **European Journal of Soil Science**, v. 71, n. 6, p. 1120-1131, 2020. <https://doi.org/10.1111/ejss.12904>. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ejss.12904?casa_token=PVPqUsYk7zUAAAA%3A8_AXo--v5-bQ271ay_HJq7Ke-blbFQ_njbFXygSsHLaW4e2pA0elbhsuWXNs1s6MMS04dNp9i-Kios. Acesso em: 29 abr. 2021.

ROSCOE, R.; BODDEY, Robert Michael; SALTON, Júlio César. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste**, v. 1, 2006.

ROSA, Roberto; SANO, Edson Eyji; ROSENDO, Jussara dos Santos. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 2, p. 333-351, 2014. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140210>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-45132014000200333&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 23 fev. 2021.

ROSENDO, Jussara dos Santos; ROSA, Roberto. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 359-376, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000200014>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-45132012000200014&script=sci_arttext. Acesso em: 18 jan. 2021.

RUMPEL, C. *et al.* The impact of grassland management on biogeochemical cycles involving carbon, nitrogen and phosphorus. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 15, n. 2, p. 353-371, 2015. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000034>. Disponível em: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-95162015005000034&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 21 jan. 2021.

SBRISSIA, André Fischer; DA SILVA, Sila Carneiro; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Ecofisiologia de plantas forrageiras e o manejo do pastejo. **Simpósio sobre Manejo da pastagem**, v. 24, p. 153-176, 2007. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/zootecnia/anaclaudiaruggieri/2.-ecofisiologiaplantasforrageirasmanejopastejo.pdf>. Acesso em: 26 jan 2021.

SILVA, L. B. da; DICK, D. P.; INDA JUNIOR, A.V. Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1167- 1171, jul. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400044>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782008000400044&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 15 mai. 2021.

SIRY, Jacek P.; CUBBAGE, Frederick W.; AHMED, Miyan Rukunuddin. Sustainable forest management: global trends and opportunities. **Forest policy and Economics**, v. 7, n. 4, p. 551-561, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2003.09.003>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934103001084?casa_token=adF-SnLLGtUAAAAA:6xFvKD4X3u4xCC1OLMWABcxzNXNdC6p_6I3j-hiKye0b6F0brWQQ8xbcpIOVva9PCIM8VUaDXBE. Acesso em: 12 jan. 2021.

SIX, Johan *et al.* Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant and soil**, v. 241, n. 2, p. 155-176, 2002. [10.1023/A:1016125726789](https://doi.org/10.1023/A:1016125726789). Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1016125726789.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2021.

SOARES, André Brugnara *et al.* Produção animal e de forragem em pastagem nativa submetida a distintas ofertas de forragem. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1148-1154, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000500025>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782005000500025&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 13 jan. 2021.

SOUSSANA, J.-F. *et al.* Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. **Soil use and management**, v. 20, n. 2, p. 219-230, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00362.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-2743.2004.tb00362.x> Acesso em: 29 abr. 2021.

SOUSSANA, Jean-François; LEMAIRE, Gilles. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 9-17, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.012>. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Coupling+carbon+and+nitrogen+cycles+for+environmentally+sustainable+intensification+of+grasslands+and+crop-livestock+systems&btnG=#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3A5WDB8twATMsJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Dpt-BR. Acesso em: 3 abr. 2021.

SOUSSANA, Jean-François; LEMAIRE, Gilles. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 9-17, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.012>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880913003526?casa_token=Ep4QIk_dCBIAAAAA:y5aP4XTytKu-5Kc89HYWlxKqVp_QR7nKlpbzeP868A8iAa61NPirpqKA3rUI_3TO-4FhydXi6eM. Acesso em: 18 fev. 2021.

SOUSSANA, Jean-François; TALLEC, Tiphaine; BLANFORT, Vincent. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 334-350, 2010. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990784>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731109990784> Acesso em: 29 abr. 2021.

STEFFENS, M. *et al.* Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China). **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, n. 1–2, p. 63-72, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.09.004>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706107002753?casa_token=nhA-IbJndZ8AAAAA:AdpEKHgXzNJRTkGaaSDcN3f8LUygxhLsX8HOoV_pgPGPG5PWJB5znmO4pc3_YEr74Orae_YXc-LiTFw. Acesso em: 15 mai. 2021.

STEVENSON, Frank J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. John Wiley & Sons, New York, USA, 1994. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=7kCQch_YKoMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Humus+chemistry:+genesis,+composition,+reactions&ots=LJq1n73_wl&sig=NmMJYhc6cS3LuRT2Rrbne0I_yic#v=onepage&q=Humus%20chemistry%3A%20genesis%2C%20composition%2C%20reactions&f=false. Acesso em: 12 fev. 2021.

STEWART, Catherine E. *et al.* Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. **Biogeochemistry**, v. 86, n. 1, p. 19-31, 2007. 10.1007/s10533-007-9140-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-007-9140-0>. Acesso em: 15 mai. 2021.

STEWART, Catherine. E. *et al.* Soil C saturation: Concept, evidence, and evaluation. **Biogeochemistry**, v.86, p.19-31, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10533-007-9140-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-007-9140-0>. Acesso em: 27 jan. 2021.

STRECK, E.V. *et al.* Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 130p.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes Fluviais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1990.

SUZUKI, Luis Eduardo Akiyoshi Sanches *et al.* Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800013> Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2007000800013&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 14 mar. 2021.

TABOADA, Miguel A.; RUBIO, Gerardo; CHANETON, Enrique J. Grazing impacts on soil physical, chemical, and ecological properties in forage production systems. **Soil management: building a stable base for agriculture**, p. 301-320, 2011. <https://doi.org/10.2136/2011.soilmanagement.c20>. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/2011.soilmanagement.c20>. Acesso em: 12 jan. 2021.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. Physical edaphology: The physics of irrigated and nonirrigated soils. San Francisco, W. H. Freeman, 1972. 532p.

TEAM, R. Core *et al.* R: A language and environment for statistical computing. 2013.

TEDESCO, Marino José *et al.* Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Ufrgs, 1995. 174p

TOTHILL, J. C. *et al.* BOTANAL—a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. 1. Field sampling. Tropical Agronomy Technical Memorandum, v. 78, n. 24, 1992. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Cam-Mcdonald/publication/303169091_BOTANAL_A_comprehensive_sampling_procedure_for_estimating_pasture_yield_and_composition_I_Field_sampling/links/5a3a12f4458515889d2bd450/BOTANAL-A-comprehensive-sampling-procedure-for-estimating-pasture-yield-and-composition-I-Field-sampling.pdf. Acesso em: 13 abril. 2020.

VELOSO, Murilo G. *et al.* High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 268, p. 15-23, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.024>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880918303712?casa_token=eeQcqxaC77UAAAAA:hU-Hg646DMs316DENTqlp0oayM76F261ytPWq-om3ynJznYGHnjqNk1CHyqx7HnjBeZiazZ6U. Acesso em: 15 mai. 2021.

VEZZANI, F.M.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELLO, N.A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do solo** - Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, 2:483-493, 2008.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000100020&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 12 fev. 2021.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832009000400001&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 12 fev. 2021.

VIGLIZZO, Ernesto Francisco, *et al.* Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review. **Science of the Total Environment**, 2019, vol. 661, p. 531-542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.130>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719301470?casa_token=Yw_d4Dz2As8gAAAAA:g0cjW0h0tNWznC-JzylYszniXvJH6ho_KvbsmiTQFBiG-iG9Oip6XByV0EASiiXWfKRKOn8nhZJM. Acesso em: 19 jul. 2021.

WANG, Junye *et al.* Effects of grazing management on spatio-temporal heterogeneity of soil carbon and greenhouse gas emissions of grasslands and rangelands: monitoring, assessment and scaling-up. **Journal of Cleaner Production**, p. 125737, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125737>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620357838?casa_token=Ph9_LtYuyuoAAAAA:Etmpb3ei4scXAVChrTZ0W1u2Z51vxgorLBvW9Qm7VgT7Ddeomkftky2Ce_28P9sPeNh2_uiQGY0. Acesso em: 7 jan. 2021.

WARD, P. R.; DUNIN, F. X.; MICIN, S. F. Water use and root growth by annual and perennial pastures and subsequent crops in a phase rotation. **Agricultural Water Management**, v. 53, n. 1-3, p. 83-97, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00157-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00157-3). Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377401001573?casa_token=HAezHkBrqmQAAAAA:EBaND1yWiLudCRaE_3cf3hek5J_iLtQfstu_6-2ULpLo_g8EiHVtc5TFVolz4tGhvfUcrlKGhE. Acesso em: 29 abr. 2021.

WATERS, Cathleen Maria *et al.* Management of grazing intensity in the semi-arid rangelands of southern Australia: effects on soil and biodiversity. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 4, p. 1363-1375, 2017. <https://doi.org/10.1002/ldr.2602>. Disponível em:

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.2602?casa_token=JGAM4X6Pqc4AAA%3A2FQ2BSr3Q4vIcnlywVLOZdalpfF2FfUsTJIO5KXJQyyAUGKUNI4Hy3mlyIK33goBeofT9ls03ppONml. Acesso em: 12 jan. 2021.

WHITE, Robert E. **Princípios e práticas da ciência do solo: o solo como um recurso natural**. Organização Andrei Editora, 2009.

WILSON, Chris H. *et al.* Grazing enhances belowground carbon allocation, microbial biomass, and soil carbon in a subtropical grassland. **Global change biology**, v. 24, n. 7, p. 2997-3009, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14070>. Disponível em:

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14070?casa_token=0SIC41k796EAAA%3Ab04BZIsaHKuWu8xq0Tm-3S3_zLFQvr3Ve78qquZRoEe6uljrkTjvkvM2r62PhKwgl8Rqxsc5m3j0Y. Acesso em: 19 jan. 2021.

YEOMANS, Jane C.; BREMNER, John Michael. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

<https://doi.org/10.1080/00103628809368027>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103628809368027>. Acesso em: 12 fev. 2021.

ZANELLA, Pablo Giliard *et al.* Grazing intensity drives plant diversity but does not affect forage production in a natural grassland dominated by the tussock-forming grass *Andropogon lateralis* Nees. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2021.

<https://doi.org/10.1038/s41598-021-96208-8>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-96208-8>. Acesso em: 19 ago. 2021.

ZHOU, Guiyao *et al.* Effects of livestock grazing on grassland carbon storage and release override impacts associated with global climate change. **Global change biology**, v. 25, n. 3, p. 1119-1132, 2019. <https://doi.org/10.1111/gcb.14533>. Disponível em:

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14533?casa_token=Wy6q8PBRmqEAAAA%3A-QHx-wcJRTx6W0quB-OE2g2YLqjA6Gv1YVAtM77rJdFCK_vS1cEYAxIxE4gtZR5MrlU77B3teKREzA. Acesso em: 29 abr. 2021.

ANEXOS

ANEXO A - POROSIDADE E DENSIDADE DO SOLO NAS CAMADAS DOS SISTEMAS PRODUTIVOS; PASTAGEM NATURAL (PN), PASTAGEM NATURAL MELHORADA (PM), PASTAGENS PERENE (PP) E PASTAGENS ANUAL (PA)

Sistemas	Microporosidade ----- cm ³ cm ⁻³ -----	Macroporosidade ----- cm ³ cm ⁻³ -----	Porosidade Total ----- -----	Densidade -- g cm ⁻³ --
Camada 0-5 cm				
PN	0,61 ± 0,05 a	0,20 ± 0,04 b	0,81 ± 0,05 ab	1,06 ± 0,08 b
PM	0,38 ± 0,18 b	0,49 ± 0,11 a	0,87 ± 0,14 a	1,09 ± 0,15 b
PP	0,60 ± 0,14 a	0,18 ± 0,05 b	0,73 ± 0,06 b	1,32 ± 0,16 a
PA	0,34 ± 0,14 b	0,44 ± 0,12 a	0,78 ± 0,05 ab	1,25 ± 0,18 ab
Camada 5-10 cm				
PN	0,60 ± 0,05 a	0,15 ± 0,04 b	0,76 ± 0,02 a	1,22 ± 0,11 b
PM	0,34 ± 0,14 c	0,42 ± 0,16 a	0,76 ± 0,07 a	1,28 ± 0,09 b
PP	0,53 ± 0,03 ab	0,14 ± 0,01 b	0,67 ± 0,02 b	1,46 ± 0,07 a
PA	0,40 ± 0,19 bc	0,36 ± 0,14 a	0,76 ± 0,08 a	1,25 ± 0,16 b
Camada 10-20 cm				
PN	0,60 ± 0,03 a	0,10 ± 0,06 b	0,71 ± 0,04 ab	1,29 ± 0,06 b
PM	0,44 ± 0,24 b	0,39 ± 0,16 a	0,83 ± 0,01 a	1,28 ± 0,09 b
PP	0,49 ± 0,01 ab	0,19 ± 0,12 b	0,61 ± 0,07 b	1,48 ± 0,07 a
PA	0,24 ± 0,01 c	0,42 ± 0,11 a	0,67 ± 0,12 ab	1,32 ± 0,14 b
Camada 20-40 cm				
PN	0,58 ± 0,05 a	0,07 ± 0,02 b	0,66 ± 0,07 a	1,37 ± 0,10 ab
PM	0,41 ± 0,19 bc	0,31 ± 0,20 a	0,72 ± 0,06 a	1,25 ± 0,04 b
PP	0,54 ± 0,03 ab	0,12 ± 0,04 b	0,66 ± 0,04 a	1,44 ± 0,06 a
PA	0,32 ± 0,16 c	0,37 ± 0,16 a	0,69 ± 0,06 a	1,29 ± 0,13 b
Camada 40-60 cm				
PN	0,63 ± 0,02 a	0,07 ± 0,03 b	0,70 ± 0,03 ab	1,43 ± 0,07 a
PM	0,36 ± 0,19 b	0,34 ± 0,18 a	0,70 ± 0,10 a	1,35 ± 0,07 a
PP	0,60 ± 0,16 a	0,12 ± 0,02 b	0,66 ± 0,04 b	1,41 ± 0,05 a
PA	0,31 ± 0,14 b	0,34 ± 0,12 a	0,65 ± 0,04 ab	1,34 ± 0,12 a
Camada 60-100 cm				
PN	0,68 ± 0,05 a	0,03 ± 0,01 b	0,72 ± 0,04 ab	1,42 ± 0,06 ab
PM	0,44 ± 0,21 b	0,39 ± 0,30 a	0,84 ± 0,33 a	1,32 ± 0,20 b
PP	0,55 ± 0,01 ab	0,10 ± 0,02 b	0,65 ± 0,03 b	1,45 ± 0,03 ab
PA	0,42 ± 0,21 b	0,26 ± 0,17 ab	0,68 ± 0,05 ab	1,48 ± 0,12 a

Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

**ANEXO B - TEOR DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO NOS SISTEMAS
PASTAGEM NATURAL (PN), PASTAGEM NATURAL MELHORADA (PM),
PASTAGENS PERENE (PP) E PASTAGENS ANUAL (PA)**

Camada (cm)	Sistemas			
	PN	PM	PP	PA
	----- carbono orgânico (g/kg) -----			
0-5	46,41 ± 10,27 ab	55,25 ± 8,31 a	38,22 ± 11,20 b	48,60 ± 4,50 ab
5-10	32,27 ± 8,74 a	34,49 ± 3,95 a	32,14 ± 4,10 a	35,17 ± 4,36 a
10-20	26,74 ± 6,37 ab	29,48 ± 2,55 a	25,93 ± 2,67 b	27,01 ± 1,82 ab
20-40	19,73 ± 7,93 a	22,84 ± 4,64 a	22,27 ± 3,49 a	22,24 ± 2,2 a
40-60	15,33 ± 8,09 a	15,95 ± 2,42 a	15,56 ± 2,45 a	16,61 ± 4,33 a
60-100	15,69 ± 5,98 a	10,26 ± 3,56 b	14,74 ± 5,77 ab	10,44 ± 3,98 b

Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

**ANEXO C - ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO NOS TRATAMENTO
PASTAGEM NATURAL (PN), PASTAGEM NATURAL MELHORADA (PM),
PASTAGENS PERENE (PP) E PASTAGENS ANUAL (PA)**

Camada (cm)	Sistemas			
	PN	PM	PP	PA
----- Estoque de carbono no solo (Mg kg ⁻¹ ha ⁻¹) -----				
0-5	24,36 ± 4,95 ab	29,17 ± 4,39 a	20,18 ± 5,91 b	25,66 ± 2,37 a
5-10	19,68 ± 5,92 a	20,98 ± 2,39 a	19,55 ± 2,49 a	21,39 ± 2,65 a
10-20	34,43 ± 8,26 ab	37,94 ± 3,28 a	33,38 ± 3,44 b	34,77 ± 2,34 ab
20-40	53,38 ± 20,32 a	62,71 ± 12,76 a	61,20 ± 9,58 a	61,12 ± 6,09 a
40-60	44,15 ± 23,60 a	45,39 ± 6,89 a	44,28 ± 6,96 a	47,28 ± 12,33 a
60-100	89,94 ± 35,52 a	58,80 ± 20,42 b	84,42 ± 33,06 ab	59,82 ± 22,80 ab
TOTAL	269,90 ± 37,39 a	255,00 ± 28,06 a	273,98 ± 49,74 a	255,69 ± 60,74 a

Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

**ANEXO D - COMPOSIÇÃO BOTÂNICA (%) DOS SISTEMAS DE PASTAGENS
PASTAGEM NATURAL (PN), PASTAGEM NATURAL MELHORADA (PM),
PASTAGENS PERENE (PP) E PASTAGENS ANUAL (PA)**

(Continua)

Espécie	Sistemas							
	PN	PM	PP	PA	PN	PM	PP	PA
	----- Verão -----				----- Inverno -----			
<i>Achyrocline satureioides</i>	0,00	0,50	0,00	0,00	7,19	0,37	0,00	0,00
<i>Andropogon lateralis</i> Nees	59,29	14,70	0,00	0,00	49,18	11,81	0,00	0,00
<i>Anthoxanthum odaoratum</i> L.	0,81	0,52	0,00	0,00	3,91	1,12	0,00	0,00
<i>Apium leptophyllum</i> (Pers.) F. Muell.	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00
<i>Axonopus affinis</i> Chase	7,97	10,05	0,00	0,00	6,04	1,78	0,00	0,00
<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P. Beauv.	0,99	0,00	0,00	0,00	3,38	7,14	0,00	0,00
<i>Axonopus siccus</i> (Nees) Kuhlms.	0,30	0,00	0,00	0,00	5,07	0,00	0,00	0,00
<i>Baccharis tridentata</i> Vahl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,89	0,00	10,28
<i>Canudo de pito</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00
<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.	1,45	0,49	0,00	0,00	0,73	0,41	0,00	0,00
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Chascolytrum subaristatum</i> (Lam.) Desv.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00
<i>Coelorachis selloana</i> (Hack.) A. Camus	0,49	0,20	0,00	0,00	0,42	0,42	0,00	0,00
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	0,00	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. cv Jiggs	0,00	0,00	88,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cyperus rotundus</i> L.	0,00	3,09	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00
<i>Cyperus spp</i>	0,83	1,08	0,00	0,00	2,10	1,21	0,00	0,00
<i>Desmodium incanum</i> (Sw.) DC.	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00
<i>Dichantherium sabulorum</i> (Lam.) Gould & C.A. Clark	0,30	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
<i>Dichondra sericea</i> Sw.	0,57	0,40	0,00	0,00	0,49	0,34	0,00	0,00
<i>Diodia brasiliensis</i> Spreng.	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00
<i>Elephantopus mollis</i> Kunth	0,00	0,68	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Erianthus angustifolius</i> Nees	0,00	4,41	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	0,00	0,47	0,00	0,00	2,96	0,39	0,47	0,00
<i>Galium humile</i> Cham. & Schltldl.	0,69	0,40	0,00	0,00	0,59	0,34	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

**ANEXO D - COMPOSIÇÃO BOTÂNICA (%) DOS SISTEMAS DE PASTAGENS
PASTAGEM NATURAL (PN), PASTAGEM NATURAL MELHORADA (PM),
PASTAGENS PERENE (PP) E PASTAGENS ANUAL (PA)**

(Continuação)

Espécie	Sistemas							
	PN	PM	PP	PA	PN	PM	PP	PA
	----- Verão -----				----- Verão -----			
<i>Gamochaeta americana</i> (Mill.) Wedd.	0,49	0,68	0,00	0,00	0,42	0,57	0,00	0,00
<i>Holcus lanatus</i> L.	1,01	5,68	0,00	0,00	0,87	7,34	8,63	0,00
<i>Hypochaeris catharinensis</i> Cabrera	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	0,57	0,00	7,71
<i>Hypoxis decumbens</i> L.	0,42	0,55	0,00	0,00	0,36	0,46	0,00	0,00
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,92	47,30	74,84
<i>Lotus uliginosus</i> Schkuhr	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00
<i>Oxalis</i> spp	0,00	0,00	0,87	0,00	0,00	0,57	0,65	0,00
<i>Paspalum leptum</i> Schult.	0,78	11,73	0,00	0,00	3,45	0,40	0,00	0,00
<i>Paspalum nicorae</i> Parodi	0,42	8,59	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00
<i>Paspalum notatum</i> Flüggé	14,19	7,17	0,00	0,00	3,44	0,47	0,00	0,00
<i>Paspalum umbrosum</i> Trin	0,00	7,39	1,48	0,00	0,00	0,45	1,04	0,00
<i>Pennisetum glaucum</i>	0,00	0,00	0,00	99,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pfaffia tuberosa</i> (Spreng.) Hicken	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00	0,00
<i>Piptochaetium montevidense</i> (Spreng.) Parodi	5,15	0,60	0,00	0,00	2,30	0,50	0,00	0,00
<i>Plantago major</i> L.	1,01	0,40	0,94	0,00	0,87	0,43	0,66	0,00
<i>Pluchea sagittalis</i> (Lam.) Cabrera	0,69	1,55	0,00	0,00	0,59	0,46	0,00	0,00
<i>Rumex</i> spp	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Schizachyrium tenerum</i> Nees	0,30	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguélen	0,00	0,89	0,66	0,95	0,00	0,18	0,47	0,75
<i>Sida</i> spp	0,00	0,45	0,77	0,00	0,00	6,69	0,54	0,00
<i>Sorgastrum setosum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00	0,00
<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (Rich.) Vahl	0,00	7,29	1,15	0,00	0,00	3,95	0,81	0,00
<i>Steinchisma hians</i> (Elliott) Nash	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00
<i>Trifolium pratense</i> L.	0,00	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Trifolium repens</i> L.	0,99	3,36	3,79	0,00	0,85	5,98	14,78	6,42
<i>Trifolium riograndense</i> Burkart	0,86	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00
<i>Vicia sativa</i> L.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,32	24,64	0,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).