

Estoques de carbono e nitrogênio no Sistema Silvopastoril com Núcleos: a nucleação aplicada viabilizando a pecuária de baixo carbono

Carbon and nitrogen stocks in the High Biodiversity Silvopastoral System: applied nucleation enabling low carbon livestock production

Reservas de carbono y nitrógeno en el Sistema Silvopastoril con Núcleos: nucleación aplicada que permite una ganadería baja en carbono

Recebido: 18/09/2020 | Revisado: 20/09/2020 | Aceito: 25/09/2020 | Publicado: 26/09/2020

André de Almeida Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6068-8084>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: andre.silva.ufsc@gmail.com

Abdon Luiz Schmitt Filho*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3553-7727>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: abdonfilho@hotmail.com

Daniele Cristina da Silva Kazama

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2244-3908>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: daniele.kazama@ufsc.br

Arcangelo Loss

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3005-6158>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: arcangelo.loss@ufsc.br

Monique Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8370-967X>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: monique_souzaaa@yahoo.com.br

Marisa de Cássia Piccolo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2163-5630>

Universidade de São Paulo, Brasil

E-mail: mpiccolo@cena.usp.br

Joshua Farley

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5793-5240>

University of Vermont, USA

E-mail: joshua.farley@uvm.edu

Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7822-3499>

Universidade de São Paulo, Brasil

E-mail: psinisgalli@usp.br

Resumo

A agricultura tem se mostrado um dos principais emissores dos gases de efeito estufa (GEE). Grande parte dessa emissão está relacionada ao sistema de produção e/ou manejo inadequado. Este estudo avaliou os efeitos do Sistema Silvopastoril com Núcleos (SSPnúcleos) na massa do dossel forrageiro (pasture cover), e nos estoques de carbono e nitrogênio quando implantado em pastagens sem árvores (PSA). As variáveis foram mensuradas em três situações, duas áreas dentro do SSPnúcleos - área próximo dos núcleos (APN) e área ensolarada entre os núcleos (AEN), e pastagem sem árvores (PSA). A participação proporcional das variáveis das áreas APN (30%) e AEN (60%) em cada hectare de pastagem originou as variáveis do SSPnúcleos como um todo. O SSPnúcleos não afetou a massa do dossel forrageiro e os estoques de carbono e nitrogênio ($p < 0,05$). AEN apresentou valores superiores de biomassa e estoque de carbono que a PSA. O SSPnúcleos manteve a massa do dossel e o estoque de carbono por hectare, mesmo em 90% da área, já que 10% são o interior dos núcleos. O SSPnúcleos tem potencial para mitigar a emissão dos GEE da pecuária convencional minimizando o impacto nas mudanças climáticas.

Palavras-chave: Bioma Mata Atlântica; GEE; Mudanças climáticas; Reabilitação ecológica; Restauração ecológica; Sequestro de carbono.

Abstract

Agriculture has proved to be one of the main sources of greenhouse gases (GHG). Large part of this GHG is related to the production system or inadequate management. This study analyzed the effects of the High Biodiversity Silvopastoral System (SPSnuclei) on pasture cover, and carbon and nitrogen stocks when implanted on treeless pastures (PSA). The

variables were measured in three situations, two areas within the SPSnuclei - area close to the nuclei (APN) and a sunny area between the (p <0.05). AEN had higher values of pasture cover and carbon stock than PSA. The SPSnuclei maintained the same pasture cover and carbon stock than PSA, even with only 90% of the total pasture area, since 10% of the pasture area was fenced off in the tree nuclei. SPSnuclei has the potential to mitigate GHG emissions from conventional livestock minimizing its impact on climate change.

Keywords: Atlantic Forest Biome; GHG; Climate change; Ecological rehabilitation; Ecological restoration; Carbon sequestration.

Resumen

La agricultura ha demostrado ser uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero (GEI). Gran parte de este problema está relacionado con la producción y / o el sistema de manipulación inadecuado. Este estudio evaluó los efectos del Sistema Silvopastoral con Núcleos (SSPnucleos) sobre la masa del dosel forrajero (cobertura de pastos), y sobre las reservas de carbono y nitrógeno cuando se implanta en pastizales sin árboles (PSA). Las variables se midieron en tres situaciones, dos áreas dentro de los núcleos SSP - área cercana a los núcleos (APN) y área soleada entre los núcleos (AEN), y pastos sin árboles (PSA). La participación proporcional de las variables de las áreas APN (30%) y AEN (60%) en cada hectárea de pasto dio lugar a las variables de los núcleos SSP en su conjunto. SSPnuclei no afectó la masa del dosel forrajero y las reservas de carbono y nitrógeno (p <0.05). AEN mostró valores más altos de biomasa y stock de carbono que el PSA. Los núcleos SSP mantuvieron la masa del dosel y la reserva de carbono por hectárea, incluso en el 90% del área, ya que el 10% son el interior de los núcleos. SSPnucleos tiene el potencial de mitigar las emisiones de GEI del ganado convencional al minimizar el impacto sobre el cambio climático.

Palabras clave: Bioma de la Mata Atlántica; GEI; Cambio climático; Rehabilitación ecológica; Restauración ecológica; Secuestro de carbono.

1. Introdução

Nos últimos dois séculos, tem-se relatado um aumento notável nas concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa (GEE) resultantes das atividades antrópicas (Jat et al., 2016). Os efeitos como derretimento das geleiras, ondas de calor, incêndios florestais, mudanças nos padrões climáticos e de precipitações são cada vez mais presentes e severos (Fountain, 2019). Estes novos padrões tendem a ficar cada vez mais críticos caso medidas

mitigadoras não sejam tomadas (Pachauri, 2013). Na América Latina, estima-se que 200 milhões de hectares de pastagens estão severamente degradadas com marcada redução da cobertura vegetal, perdas da fertilidade do solo e disponibilidade reduzida de forragem (Gaitán et al., 2016).

O setor agrícola esta entre os maiores emissores de GEE, com participações de aproximadamente 24% das emissões antropogênicas. Com uma população global crescente as demandas alimentares não deverão impulsionar ainda mais o crescimento do setor agrícola. Ao mesmo tempo, constata-se que há um enorme potencial sumidouro de carbono nesse setor, incluindo mudanças no uso e cobertura das terras, nos sistemas de produção e nas práticas de manejo (Cerri, et al., 2004; Lenka et al., 2015; Oliveira & Carvalho, 2011).

O Brasil esta entre os principais emissores mundiais de GEE com uma marcada contribuição para as mudanças climáticas. Essas emissões vêm da queima ligada ao desmatamento, e não somente de combustíveis fósseis, que são os principais culpados na maioria dos outros países (Azevedo et al., 2018). Por outro lado, agricultura é um dos setores econômicos mais sensíveis aos efeitos das mudanças climáticas, pois a sua produtividade depende diretamente das condições ambientais (Tol, 2018). Estudos tem mostrado que as mudanças climáticas têm mais probabilidade de impactar negativamente o rendimento das culturas do que positivamente (IPCC, 2014).

Os impactos negativos das mudanças climáticas na agricultura podem levar a perdas econômicas substanciais, uma vez que o agronegócio é responsável por grande parte do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, aproximadamente 22% (CEPEA, 2017). Estimativas também tem mostrado que pode-se ter perdas de produtividade agrícola entre 19% e 40% a médio e longo prazo (Assunção, 2016). Para reverter este quadro, destaca-se a diversificação dos sistemas de produção e manejos as principais práticas de adaptação (Asfaw et al., 2018; Nguyen, 2017). As práticas agroflorestais podem ajudar a alcançar ações de mitigação e adaptações bem-sucedidas (Mbow et al., 2014; Silva et al., 2017; Battisti et al., 2018; Deniz et al., 2019).

As pastagens correspondem uma parte vital dos ecossistemas do mundo e ocupam mais de 1/4 da área terrestre (Loveland et al., 2010). A atividade pecuária no Brasil representa 7% do PIB, sendo a maior parte desenvolvida a base de pasto (IBGE, 2015). Uma parte significativa da economia nacional depende diretamente das condições ambientais e do manejo adequado dos agroecossistemas (Oliveira et al., 2016). As pastagens correspondem a 172 milhões de hectares, dos quais 50% estão em franco processo de degradação, e 25%

moderadamente degradados (Dias-Filho, 2014; Carvalho et al., 2017). Este cenário pode comprometer a disponibilidade de alimentos e a geração de divisas (Pacheco et al., 2015).

A degradação de pastagens é um processo crescente de perda da capacidade de recuperação natural. Este processo impacta a capacidade do sistema de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, que culminam na degradação avançada dos recursos naturais, em razão de manejos inadequados. Com o avanço do processo de degradação, verifica-se perda de cobertura vegetal e redução no teor de matéria orgânica do solo, com resultante aumento de emissão de CO₂ para atmosfera (MAPA, 2012).

O setor pecuário depende dos recursos naturais e é responsável por cerca de 14,5% do total das emissões antrópicas de GEE. Em 2005 gerou em torno de 7,1 Gigatoneladas equivalentes de dióxido de carbono (Gerber et al., 2013). Estratégias de mitigação destinadas a reduzir as emissões desse setor são necessárias para limitar os passivos ambientais gerados pela produção de alimentos, garantindo assim a produção crescente e sustentável.

A recuperação dos ecossistemas pastoris aumenta o sequestro de carbono do solo e pode potencialmente evitar a expansão do desmatamento, reduzindo assim a intensidade das emissões (Silva et al., 2017, Battisti et al., 2018). Dentre essas práticas destacam-se o Pastoreio Racional Voisin (Pinheiro-Machado, 2010). Este sistema de manejo do pasto combinado ao Sistema Silvipastoril (SSPs), além de restaurar pastagens degradadas, tem gerado efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, abrangendo a adequação ambiental e a viabilidade econômica (Paciullo et al., 2010; Solorio et al., 2016). Os SSPs são caracterizados pelo manejo simultâneo dos animais, plantas forrageiras e árvores em uma mesma área (Peri et al., 2016; Sarabia et al., 2020).

Os SSPs são conhecidos por reabilitar pastagens degradadas aumentando o estoque de carbono e nitrogênio em solos tropicais e subtropicais (Battisti et al., 2018; Junior et al., 2020; López-Santiago et al., 2018). Quando comparado com as pastagens sem árvores, os SSPs têm demonstrado maior potencial para produção de forragem de qualidade (Kretzer, 2019; Souza, et al., 2020), sequestro de carbono (Fang & Peng, 2001; Asha et al., 2019, Silva et al. 2017), e estabilidade microclimática (Deniz et al., 2019; Kretzer et al., 2019). O aumento da cobertura de árvores em pastagens degradadas pode contribuir para múltiplos serviços ecossistêmicos, além de contribuir para a biodiversidade. Os tem aumentado a competitividade econômica da atividade pecuária e concomitantemente gerar ativos ambientais (Oliveira & Carvalho, 2010; Simioni et al. 2016, 2019; Cárdenas & Ibrahim 2019; Heck, 2020).

Compreender a dinâmica dos processos e funções ecossistêmicas nos SSPs é

fundamental para identificação de sinergias entre a restauração ecológica e viabilidade econômica (Mbow et al., 2014; Jose & Dollinger, 2019). O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnúcleos) na massa do dossel forrageiro ou cobertura de pasto (*pasture cover* - Bryant, 1990; Murphy & Lodge, 2002; Mata et al., 2007), e nos estoques de carbono e nitrogênio, quando comparado com pastagens sem árvores (PSA) típicas do Bioma Mata Atlântica no Sul do Brasil. Assim, foi testada a hipótese de que a implantação do SSPnúcleos não comprometeria massa do dossel forrageiro, tão pouco os estoques de carbono e nitrogênio. Também foi testada a hipótese de que a presença dos núcleos arbóreos com leguminosas causaria um aumento da massa do dossel forrageiro, do estoque de carbono e nitrogênio nas áreas entre os núcleos (AEN), mas não nas áreas próximas aos núcleos (APN) devido à presença do rebanho no entorno dos mesmos (Craesmeier et al., 2015; Salomão et al., 2020).

2. Metodologia

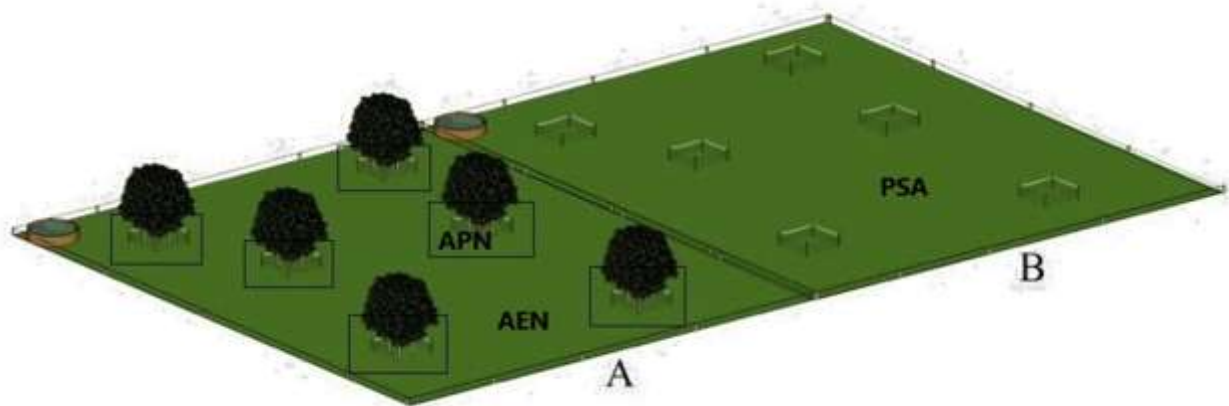
2.1. Área experimental

A área experimental está localizada em uma propriedade da agricultura familiar produtora de leite localizada no município de Santa Rosa de Lima em Santa Catarina, Sul do Brasil (28° 02' 27" Sul, 49° 07' 44" Oeste). Está inserida na zona climática Subtropical Úmida (Cfa) (IBGE, 2015; Pereira, et al., 2018) com precipitação anual de 1.400 a 1.600 mm. O município situa-se no bioma Mata Atlântica com uma cobertura vegetal original composta pela Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2015). A área de pastagem apresenta dominância das gramíneas *Axonopus catharinensis* Valls e *Hemarthria altíssima* manejadas sob Sistema Voisin desde 1999. Durante o período de inverno, a pastagem é sobressemeada com *Avena sativa*, *Lolium multifolium*, e *Trifolium repens* (Deniz et al., 2020).

O Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnúcleos) foi implantado a propriedade em 2012 e o experimento conduzido após o pleno desenvolvimento das espécies arbóreas pioneiras, entre 2018 e 2019. Foram utilizados oito piquetes com área variando entre 1.550 e 2000 m², todos com aproximadamente 12 a 15% de declividade e submetidos ao mesmo manejo. Quatro dos oito piquetes experimentais possuíam os SSPnúcleos, e eram pareados com outros quatro piquetes com pastagem sem árvores (PSA). Os quatro piquetes do SSPnúcleos tinham 40 núcleos arbóreos agroflorestais de 25 m² (5 m x 5 m) cercados com arame eletrificado para impedir o acesso dos animais. Estes núcleos estão dispostos de forma

equidistante totalizando 10% da área de cada piquete (Schmitt Filho et al., 2013; Schmitt Filho et al., 2017; Schmitt Filho e Farley, 2020). Os pontos de coleta do SSPnúcleos foram replicados nas áreas equivalentes da PSA de acordo com Deniz et al. (2020) (Figura 1).

Figura 1: Representação esquemática da divisão dos tratamentos no experimento. Sistema Silvopastoril com Núcleos SSPnúcleos, área perto dos núcleos (APN, 30%), área entre os núcleos (AEN, 60%), núcleos arbóreos agroflorestais (N, 10%), e pastagem sem árvores (PSA) com pontos de coleta fictícios.



Fonte: Adaptado Deniz et al., (2019).

Na figura acima é importante observarmos a disposição dos núcleos no piquete e as áreas amostrais do desenho experimental. Inicialmente a área perto do núcleo APN à 2,5 m, e em seguida a área entre núcleos AEN com distância de 5 m dos núcleos.

A massa do dossel forrageiro ou cobertura de pasto (pasture cover - Bryant, 1990; Murphy & Lodge, 2002; Mata et al., 2007), e os estoques de carbono e nitrogênio do dossel foram avaliados comparativamente nos quatro piquetes do SSPnúcleos e quatro piquetes da PSA. A avaliação do SSPnúcleos foi subdividida em duas áreas, área sombreada próxima dos núcleos (APN) e área constantemente ensolarada entre os núcleos (AEN). A APN compreendia a área média radial de 2,5 m a partir das cercas no entorno dos núcleos, totalizando 3.000 m² por hectare (30%). A AEN era a pastagem constantemente ensolarada entre os núcleos do SSPnúcleos, a qual totalizou 6.000 m² por hectare de SSPnúcleos (60%). Os 10% remanescentes de cada hectare de pastagem é a soma das áreas internas (25 m²) dos 40 núcleos arbóreos devidamente cercados.

As avaliações das variáveis biomassa do dossel, estoque de carbono e nitrogênio foram divididas em quatro tratamentos. Duas destas áreas estavam localizadas dentro do SSPnúcleos, área de pastagem sombreada próxima dos núcleos (APN), e área de pastagem constantemente ensolarada entre os núcleos (AEN). A terceira área compreendia os piquetes sem árvores (PSA). A participação proporcional das variáveis das áreas APN (30%) e AEN (60%) de cada piquete geraram as variáveis referentes à área pastoril total do SSPnúcleos ($SSPnúcleos = APN*0,3 + AEN*0,6$).

2.2. Coleta de dados

Para a determinação da massa do dossel ou cobertura de pasto (*pasture cover* - Bryant, 1990; Murphy & Lodge, 2002; Mata et al., 2007), foi utilizado a metodologia de dupla amostragem (Wilm, 1944), sendo realizadas 25 amostras visuais (cinco pontos de coleta por núcleos distribuídos equidistantes do núcleo em cinco núcleos por piquetes) em cada piquete por tratamento (APN, AEN e PSA). Das amostras visuais, foram coletadas 15 amostras físicas por tratamento em cada um dos quatro piquetes por tratamento, 3 pontos de coleta por núcleo em cinco núcleos por piquete. As amostras e as estimativas visuais foram feitas com auxílio de um quadrado de área conhecida (25 x 25 cm) posicionado sobre o ponto de coleta (Kretzer, 2019; Santos, et al., 2016).

Para as amostras físicas, a massa verde contida no quadrado foi cortada a 5 cm do solo, pesada, e posteriormente seca em estufa com ventilação de ar forçado a 60 °C por 72 horas. Após secas as amostras foram pesadas novamente para determinar a massa seca total (MS total) e, posteriormente foram moídas em moinho (1mm) de faca modelo Wiley (Thomas Scientifi, Swdesboro, NJ). As aferições foram feitas nos mesmos pontos das amostras visuais, exatamente no centro da área demarcada, totalizando 25 amostras em cada piquete por tratamento (Kretzer, 2019; Santos, et al., 2016).

2.3. Determinação dos teores de carbono (C) e nitrogênio (N)

Para mensurar os teores de C e N, procedeu-se de duas formas: uma alíquota de cada amostra foi moída e peneirada e peneira de 2 mm e analisadas em um analisador elementar – LECO Truspec CHNS (Marchão et al., 2011) e a outra parte em espectroscopia de infravermelho (NIR). Para a quantificação dos teores de C e N da pastagem sob os diferentes

tratamentos utilizaram-se amostras compostas. A cada 5 pontos de coleta foi feito uma amostra composta por tratamento, área próximo núcleo (APN), área entre núcleos (AEN) e pastagem sem árvores (PSA), em cada núcleo. Para as análises realizadas no CHNS foram utilizadas 240 amostras referente ao ano 2018, e para análises no NIR foram utilizadas 240 amostras referente ao ano 2019 (Souza, et al., 2017).

Para estimar os teores de C e N foram analisadas 240 amostras coletadas em 2018, com o auxílio de um analisador elementar por combustão a seco a 1000 °C (LECO Truspec MCHNS, EUA), no Laboratório de Ciclagem de Nutrientes do Centro de Energia Nuclear e Agricultura (CENA-USP). As demais amostras foram analisadas por meio de espectroscopia de infravermelho próximo NIR, modelo FT-NIR MPA Bruker (Alemanha), e mais 16 amostras para avaliação dos dados obtidos através das análises realizadas no Laboratório de Forragicultura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) com curvas de calibração de $R^2 = 0,53$ para carbono e $R^2 = 0,91$ para nitrogênio (Souza, et al., 2017).

2.4. Análises estatísticas

Os dados obtidos para massa do dossel (MS), carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) foram analisados quanto a normalidade por meio do teste Shapiro Wilk. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F. Foi utilizado o esquema de parcelas subdivididas, avaliando-se os fatores tratamento (APN, PSA e AEN) e época de coleta (2018 e 2019). Quando a interação entre tratamentos e épocas foi significativa, procedeu-se o desdobramento da interação. Os valores médios foram comparados entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software Sisvar 5.6 (Pereira et al., 2018; Souza et al., 2017).

As análises estatísticas foram executadas em duas etapas de forma quantitativa. Primeiramente, a avaliação comparativa das variáveis biofísicas entre piquetes com núcleos arbóreos (SSPnúcleos) e piquetes desprovidos do componente arbóreo (PSA). As variáveis massa do dossel ou cobertura de pasto (*pasture cover*), carbono e nitrogênio estocado para PSA foram determinadas a partir das coletas nos piquetes sem árvores. Para o tratamento SSPnúcleos as variáveis foram geradas a partir da equação $SSPnúcleos = APN*0,3 + AEN*0,6$. Esta equação é uma função da participação proporcional das áreas APN (30%) e AEN (60%) em cada hectare de pastagem do SSPnúcleos (Deniz, et al., 2019; Kretzer, 2019). A área ocupada pelos núcleos soma 10% de cada hectare. Posteriormente, foram comparadas

as respectivas variáveis biofísicas das duas áreas dentro do SSPnúcleos, perto dos núcleos (APN), e entre núcleos (AEN), com a área de pastagem sem árvores (PSA).

3. Resultados e Discussão

3.1. Massa do dossel forrageiro, carbono e nitrogênio no SSPnúcleos e na PSA

Em relação a análise de variância, verificou-se que o SSPnúcleos não interferiu na massa do dossel, assim como nos teores de C, N e relação C/N da MS, com médias iguais para ambos os tratamentos. Quando se avaliou a época de coleta e a interação entre tratamento e época de coleta, verificou-se influência desses parâmetros na massa do dossel e teores de C e N ($p < 0,05$) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância para massa do dossel (MS), carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) no SSPnúcleos e na pastagem sem árvores (PSA).

Variáveis analisadas	Fontes de variação			CV%
	Tratamento (A) SSPnúcleos x PSA	Ano (B) 2018 x 2019	Interação (A x B)	
MS	0,53 ^{NS}	8,82 ^{**}	3,13 [*]	27,21
C	0,09 ^{NS}	10,28 ^{**}	4,16 [*]	27,32
N	0,51 ^{NS}	9,58 ^{**}	3,20 [*]	28,87
C/N	0,10 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,26 ^{NS}	15,26

NS Não significativo. * e ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. CV Coeficiente de variação. Fonte: Autores (2020).

De acordo com a análise de variância é importante observarmos na tabela acima que não houve diferença entre SSPnúcleos e PSA. Os valores médios da massa do dossel forrageiro foram diferentes entre SSPnúcleos e PSA em 2018 e semelhantes em 2019. No SSPnúcleos a massa do dossel forrageiro não diferiu entre os anos, com 3573,30 kg MS ha⁻¹ em 2018 e 3714,06 kg MS ha⁻¹ em 2019. Para PSA observou-se valores de 3256,76 kg MS ha⁻¹ em 2018 e 3737,80 kg MS ha⁻¹ em 2019 (Tabela 2), significativamente diferentes.

Comparando os tratamentos, em 2018, a massa do dossel forrageiro foi 317 kg MS ha⁻¹ superior para o SSPnúcleos em relação ao PSA, sendo uma diferença importante para a competitividade da produção a base de pasto em sistemas silvipastoris.

A diferença entre as áreas SSPnúcleos e PSA para MS, C e N, foi significativa em 2018, porém o mesmo não ocorreu em 2019. Nota-se que SSPnúcleos não difere entre ano, e

favorece a produção de biomassa de C e N devido aos maiores benefícios, variação climática, microclima e o bosteio animal que melhora os atributos químicos e físicos do solo (Battisti et al. 2018).

Tabela 2. Médias das variáveis massa do dossel (MS), carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono nitrogênio (C/N) para os tratamentos Sistema Silvipastoril com Núcleos (SSPnúcleos) e pastagem sem árvores (PSA) nos anos de 2018 e 2019.

Ano	Tratamentos	
	SSPnúcleos	PSA
	MS (kg ha⁻¹)	MS (kg ha⁻¹)
2018	3573,30 Aa	3256,76 Bb
2019	3714,06 Aa	3737,80 Aa
	C (kg ha⁻¹)	C (kg ha⁻¹)
2018	1508,21 Aa	1379,88 Bb
2019	1567,15 Aa	1613,53 Aa
	N (kg ha⁻¹)	N (kg ha⁻¹)
2018	90,40 Aa	81,88 Bb
2019	94,53 Aa	95,90 Aa
	C/N	C/N
2018	16,76 Aa	16,75 Aa
2019	16,05 Aa	16,98 Aa

Médias com letras iguais, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2020).

Importante observar na Tabela 2 que o SSPnúcleos apresentou melhores resultados para as variáveis analisadas.

A amenização microclimática observada nas pastagens sob SSPnúcleos citadas por Deniz et al. (2019) e Kretzer (2019), as melhorias dos atributos químicos e físicos do solo citadas por Battisti et al. (2018), e o incremento de biodiversidade citado por Simioni et al. (2019), podem explicar os valores iguais da massa do dossel por hectare (kg MS ha⁻¹), mesmo considerando a diminuição de 10% da área de pastagem ocupada pelos núcleos cercados, e o sombreamento intenso de 20 e 30% da área de pastagem no entorno de cada núcleo.

Ao avaliarem três diferentes tipos de intensidade de sombreamento (30, 50 e 80% de radiação solar), Ehret et al. (2015) observaram que a produção anual total de forragem foi maior em pastagens não sombreadas no segundo e no terceiro ano após o estabelecimento das mesmas. Em outro estudo realizado em sistema silvipastoril na Florida (EUA), as pastagens sem árvores produziram 22% e 36% a mais de matéria seca (MS) em comparação com o SSP

com linha dupla e desbastes de bosques, respectivamente. Porém, as forragens no SSP tiveram maior teor proteico do que as pastagens sem sombra (Bambo et al., 2009) fato também observado neste estudo no ano de 2018 (SSPnúcleos 90,40 e PSA 81,88 kg ha⁻¹ de N P < 0,05). Já Ainalis & Tsiouvaras (1998) notaram que a participação das forrageiras nativas diminuiu com maior densidade de espécies arbóreas e aumento do período de sombreamento nos piquetes.

Estudo feito em arranjos silvipastoris com a leguminosa arbórea *Leucaena leucocephala* de 9 a 14 meses de idade e a gramínea *Panicum maximum* cv. Guine comparado com a monocultura da gramínea *Bothriochloa pertusa* na Colômbia, retrataram vantagens do sistema silvipastoril. A produção de matéria seca de *Panicum maximum* cv. Guiné em arranjos mais complexos, densos e sombreados foi superior a monocultura de *Bothriochloa pertusa* sem arvores (Fernández & Fandiño, 2013). Em outro estudo realizado por Costa et al. (2016) em Pernambuco com os tratamentos: (i) capim-sinal/sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.), (ii) capim-sinal/glicírdia (*Gliricidia sepium*) e (iii) monocultura de capim-sinal, os autores observaram que a massa do dossel de capim-braquiária na monocultura foi 1934 kg MS ha⁻¹ e no sistema silvipastoril foi de 2237 kg MS ha⁻¹.

Segundo Barros et al., (2018), a produção forrageira pode ser afetada pelo dossel sombreado dos sistemas silvipastoris ao longo do ano, especialmente em climas subtropicais e temperados. Isso pode afetar as características das plantas forrageiras fazendo com que as pastagens sombreadas não apresentem produtividades em níveis equivalentes às das pastagens sem sombra. Todavia, estudos realizados por Pang et al. (2017) testando o efeito da sombra moderada (45% da luz solar) e densa (20% da luz solar) sobre a produção forrageira, mostrou que a maioria das gramíneas e leguminosas forrageiras podem ter um bom desempenho tanto na agrossilvicultura como em pastagens sem árvores, desde que a competição dos sistemas radiculares seja mínima. Em sistemas silvipastoris, o sombreamento tem reduzido o estresse térmico melhorando o desempenho e a produtividade dos animais em pastejo, mesmo quando a oferta de pastagem é inferior (Peri et al., 2007; Domiciano et al., 2016; Deniz et al., 2019).

Assim como observado para a massa do dossel, os teores de C e N não apresentaram diferenças entre o SSPnúcleos e PSA. Entretanto, quando avaliado os teores de carbono para cada ano, observa-se que em 2018 o estoque de carbono no SSPnúcleos (1508,21 kg C ha⁻¹) foi superior ao estoque das a (PSA 1379,88 kg C ha⁻¹ P < 0,005). A diferença de 129 kg C ha⁻¹ para o SSPnúcleos enaltece as qualidades do sistema em relação ao sequestro de carbono e mitigação das mudanças climáticas quando implantado em grandes áreas (Tabela 2). Em estudo realizado por Chaturvedi et al. (2016) na Índia para estimar os teores de carbono

armazenado acima do solo nos SSP observaram valores de carbono entre 0,29 a 15,21 Mg C ha⁻¹ ano. Já no perfil do solo foram observados valores entre 0,0 a 0,30 Mg C ha⁻¹ ano, evidenciando que o armazenamento de carbono apresenta distinções entre os componentes e sistemas.

Ao estudarem o Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) planta com alto potencial de integração de carbono, Barros et al. (2018) observaram que as raízes (20 cm), as hastes mortas e as folhas foram os compartimentos com os maiores estoques de carbono em sistemas silvipastoris com valores 4,52, 3,58 e 1,9 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Foi observado que biomassa total de raízes finas e grossas, desempenha um papel relevante na redução de GEE, na conservação de solos tropicais, na ciclagem de nutrientes, e conseqüentemente na massa do dossel forrageiro e carbono. Segundo Jose & Dollinger (2019), as estimativas dos estoques de carbono da forragem e das árvores de vários sistemas silvipastoris são prioritárias na idealização de sistemas pecuários alternativos de baixo carbono.

As florestas manejadas armazenam anualmente uma média de 0,33 Mg C ha⁻¹, as agroflorestas tradicionais, uma média de 0,14 Mg C ha⁻¹ incluindo todos os estoques de C com base em vegetação e C no solo a 40 cm profundidade (Kirby & Potvin, 2007). Na Patagônia, o carbono total armazenado no sistema silvipastoril mostrou um valor intermediário de 0,15 Mg C ha⁻¹ ano (Peri et al., 2018).

O armazenamento de C nos SSPs é uma importante estratégia de mitigação no contexto do rápido aumento do nível de CO₂ na atmosfera, e seu potencial efeito nas mudanças climáticas globais (Peri et al., 2018). Os dados da síntese de Conant et al. (2017) confirmam que o aprimoramento das práticas de manejo de pastagens e a conservação das mesmas melhoram estes estoques. O manejo das pastagens pode afetar significativamente o estoque de C do solo e da biomassa forrageira, quanto mais eficiente o manejo mais alto serão os estoques de C (Chen et al., 2015).

Para os teores de N na biomassa forrageira, os valores foram 90,40 kg N ha⁻¹ para SSPnúcleos e 81,88 kg N ha⁻¹ para PSA em 2018. Já em 2019 foram 94,53 kg N ha⁻¹ para SSPnúcleos e 95,90 kg N ha⁻¹ para PSA respectivamente (Tabela 2). O SSPnúcleos apresentou 8,52 kg N ha⁻¹ superior a PSA para ano 2018, sendo uma diferença importante para a massa dossel e carbono estocado. Grande parte das leguminosas sejam árvores ou ervas melhoram o acúmulo de material orgânico rico em N no solo devido a sua capacidade de fixar grandes quantidades de nitrogênio atmosférico. A leguminosa arbórea *Leucaena leucephala* fixa até 550 kg N ha⁻¹ (Munroe & Isaac, 2014). Esses autores também notaram que maior concentração de C e N estava sob as copas das árvores, representando 50-57% de C e N

armazenados, devido a intensificação da ciclagem de nutrientes, maior entrada de resíduos e atividade microbiana. Nos sistemas silvipastoris, a altura do dossel e a existência de ambientes sombreados e parcialmente sombreados podem alterar o desenvolvimento das pastagens e a produção de matéria seca (Oliveira et al., 2019). O consórcio de leguminosas arbóreas com gramíneas forrageiras em sistema silvipastoril, em geral tem aumentado o nitrogênio devido a simbiose entre *rizobiuns* e leguminosas. Este fato pode melhorar a pastagem do sub-bosque aumentando o N na massa do dossel e no solo (Barros et al., 2018).

A relação entre o teor de carbono e nitrogênio (C/N) é um indicador importante da mineralização da matéria orgânica do solo, apresentando informações sobre o estado de humificação. Na decomposição da matéria orgânica do solo a relação C/N é importante para a determinação da decomposição entre nutrientes essenciais e para a atividade da macro e microbiota do solo (Luchese et al., 2002).

Na avaliação da relação C/N no SSPnúcleos e PSA não foram observadas diferenças entre os tratamentos e tão pouco entre os anos. A relação C/N para SSPnúcleos em 2018 foi de 16,76 e para PSA 16,75. Em 2019 a relação C/N no SSPnúcleos foi de 16,05 e no PSA 16,98. A incerteza quanto ao sequestro de C e N e sua dinâmica nos diferentes sistemas pecuários dificulta a compreensão precisa dos ciclos destes nutrientes e sua relação com a emissão dos GEE (Zhang et al., 2020). A relação C/N é bastante significativa ao se enfatizar a sustentabilidade e o sequestro de C e N a longo prazo nos ecossistemas terrestres (Luo et al., 2004). A disponibilidade de N controla o sequestro de C nos solos florestados e forragem (Liang et al., 2014) e até em solos agrícolas abandonados (Knops and Tilman, 2000).

Em estudos realizados em áreas agrícolas abandonadas na província de Shaanxi na China mostrou que a relação C/N variou entre 7 a 12 nos solos. Esta relação aumenta com a idade da cobertura florestal do solo. Os resultados destacam a necessidade de levar em consideração a relação do C/N após a mudança no uso da terra para melhor entender os ciclos biogeoquímicos e os feedbacks subsequentes de acordo com o manejo do solo (Zhang et al., 2020). O entendimento das mudanças sazonais ou até entre anos na massa do dossel, na produção forrageira, e no sequestro de elementos é de fundamental importância para o manejo da pastagem e o impacto deste no meio ambiente (Omer et al., 2006, Beecher et al., 2013).

3.2. Massa do dossel forrageiro, carbono e nitrogênio na APN, AEN e PSA

Considerando as distintas áreas dentro do SSPnúcleos, verificou-se que houve variação entre APN, AEN e PSA na massa do dossel forrageiro, assim como nos teores de C,

N, e relação C/N. Também observou-se influência da época de coleta e interação entre os tratamentos e épocas nas variáveis avaliadas ($p < 0,05$) (Tab. 3).

Tabela 3. Massa do dossel (MS), carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) em uma pastagem sem árvores (PSA) e duas áreas distintas do SSPnúcleos, área próxima aos núcleos (APN) e área entre os núcleos (AEN).

Variáveis analisadas	Tratamento (A) APN x AEN x PSA	Ano (B) 2018 x 2019	Interação (A x B)	CV%
MS / ha	4,01*	2,25 ^{NS}	4,02*	24,92
C / ha	4,20*	4,04*	4,18*	25,39
N / ha	2,30 ^{NS}	4,35*	3,25*	28,38
C / N	2,85 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,70 ^{NS}	14,24

NS Não significativo. Significativo a * $P < 0,05$ e ** $P < 0,01$. Fonte: Autores (2020).

De acordo com os dados da tabela acima, é importante observar que foram significativas as variáveis MS e C, e não significativo para N e C/N entre os tratamentos.

Nas análises para os três tratamentos (APN, AEN e PSA) não foram observadas diferenças para massa do dossel (MS) entre as áreas APN e PSA, mas ambas foram inferiores a AEN, que apresentou um valor de 3798,22 kg MS ha⁻¹ para o ano de 2018 (Tabela 4). O melhor desempenho para AEN deve-se as condições favoráveis principalmente para massa do dossel. Estudo realizado na mesma área demonstrou que o sombreamento parcial promovido pelos núcleos, influenciou positivamente na produção anual forrageira da área AEN com 4.309 kg MS ha⁻¹ com 40% de luminosidade (Kretzer, 2019; Deniz et al., 2019).

Plevich et al., (2019) observaram os efeitos negativos na massa do dossel na área próxima ou sob as árvores nos SSPs. A importância desses processos dependerá da interação entre as limitações abióticas do local e a plasticidade ecofisiológica das espécies cultivadas (Caballé, 2013). Por outro lado, em um estudo com SSPs nos EUA foi observado um potencial para o crescimento da forragem junto as árvores (Castillo et al., 2020).

As análises para C nos tratamentos avaliados apresentaram os seguintes resultados para APN 1424,28 kg C ha⁻¹, para AEN 1591,46 kg C ha⁻¹ e PSA 1379,47 kg C ha⁻¹ (Tabela 4), tendo uma maior concentração de carbono na AEN proporcionado pelas condições favoráveis para crescimento forrageiro ($p > 0,05$). A avaliação de C para tratamentos constituídos por pastagens de monocultura de gramíneas a pleno sol e em três distâncias de bosques, 7,5 m (avaliação ao norte), 7,5 m (avaliação ao sul), e 15 m, mostrou que em relação ao pleno sol as três áreas sofreram uma diminuição de 8%, 40%, e 24%, respectivamente (Gomes et al., 2020). Após quatro anos do estabelecimento de monocultura de *Brachiaria*

decumbens, *Brachiaria decumbens* com *Gliricidia sepium* e *Brachiaria decumbens* com *Mimosa caesalpiniaefolia* ambos em SSP observou-se um franco potencial para o armazenamento de nitrogênio e carbono especialmente no SSPs. Em dois anos, os estoques de C na *Gliricidia sepium* e *Mimosa caesalpiniaefolia* aumentaram 45% e 35% em relação a monocultura de gramínea. Já o estoque de N do solo triplicou nas três distâncias (Junior et al., 2020).

Os estoques de N apresentaram diferença entre AEN com 96,15 kg ha⁻¹, e PSA 81,88 kg N ha⁻¹ (p>0,05; Tabela 4). A maior concentração de N na AEN deve-se as condições favoráveis devido a formação dos núcleos, possibilitando uma melhor qualidade da forragem e redução na emissão de GEE (Solorio et al., 2016). Em estudo realizado na Espanha foi observado que o N do solo aumentou 44,1% em condições abaixo do dossel e 11,6% fora do dossel em comparação com as parcelas não plantadas durante todo o período do estudo (Hernández-Esteban et al., 2018). Fornara et al. (2018) encontrou 80 Kg N ha⁻¹ com um sequestro de 8 Mg de C ha⁻¹ durante uma década de implementação do sistema silvipastoril no semiárido do Brasil.

Tabela 4. Médias das variáveis massa do dossel (MS), carbono (C), nitrogênio (N) e relação nitrogênio (C/N) em uma pastagem sem árvores (PSA) e nas duas áreas distintas do SSPnúcleos, área próxima aos núcleos APN e área entre os núcleos AEN em 2018 e 2019.

Ano	Tratamentos		
	PSA	APN	AEN
	MS (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)
2018	3256,76 Bb	3403,13 Ba	3798,22 Aa
2019	3737,80 Aa	3463,50 Aa	3664,43 Aa
	C (kg ha ⁻¹)	C (kg ha ⁻¹)	C (kg ha ⁻¹)
2018	1379,47 Bb	1424,28 Ba	1591,46 Aa
2019	1613,53 Aa	1454,47 Ba	1562,43 AB
	N (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)
2018	81,88 Bb	86,62 Aa	96,15 Aa
2019	95,90 Aa	91,46 Aa	93,75 Aa
	C/N	C/N	C/N
2018	16,76 Aa	16,50 Aa	16,75 Aa
2019	17,05 Aa	16,10 Aa	16,98 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2020).

Importante observar na Tabela 4 que a área AEN do SSPnúcleos apresentou melhores resultados para as variáveis analisadas, seguido pela PSA. A área APN apresentou menor resultado para as variáveis estudadas.

As análises da relação C/N nas áreas APN, AEN e PSA não apresentaram diferenças, sendo para APN 16,50, AEN 16,75 e PSA 16,76 (Tabela 4). Em estudo realizado com pastagem composta principalmente por espécies anuais observou-se que os valores médios de C/N aumentaram significativamente com a idade, resultando em um maior C/N com o aumento da idade das pastagens (Hernández-Esteban et al., 2018).

Nas três áreas avaliadas, os valores de massa do dossel e estoque de carbono encontrados corroboram com a literatura, sendo observado uma maior massa do dossel na AEN pela intensa insolação devido à ausência de sombra, além da influência positiva da presença das leguminosas nos núcleos. Na área APN era esperado a redução da massa do dossel e carbono estocado devido à sombra, além do impacto da presença frequente do rebanho sob a sombra (Craesmeyer et al., 2015; Deniz et al., 2019). A disponibilidade de N é um fator limitante para a produção pecuária, e o sistema silvipastoril pode aumentar a disponibilidade de N devido à presença de leguminosas arbóreas (Cardona et al., 2013; Dalzell et al., 2006). Consequentemente, o aumento da produtividade e da qualidade das forragens oferece oportunidade para incrementos no carbono estocado. Variar a relação entre a densidade dos componentes arbóreos e latitude/clima pode melhorar a massa do dossel, a produtividade forrageira e carbono sequestrado no sistema, aumentando assim o potencial de mitigar as mudanças climáticas (Asha et al., 2019).

4. Considerações Finais

O Sistema Silvipastoril com Núcleos não comprometeu a massa do dossel forrageiro (*pasture cover*) e o carbono estocado quando comparado com as pastagens sem árvores. Apesar da área de pastagem do Sistema Silvipastoril com Núcleos ser 10% menor do que as pastagens sem árvores em função da área cercada dos núcleos, a massa do dossel e o carbono estocado por hectare não diferiram. Nas áreas entre os núcleos do Sistema Silvipastoril com Núcleos os valores de massa do dossel forrageiro e estoque de carbono foram maiores do que nas pastagens sem os componentes arbóreos.

Considerando que o Sistema Silvipastoril com Núcleos manteve a massa do dossel forrageiro e o estoque de carbono por hectare igual às pastagens sem árvores, mesmo com

90% da área efetiva de pasto, descortina-se neste sistema possibilidades de mitigar a emissão dos gases do efeito estufa gerados pela pecuária convencional, a partir de políticas públicas que incentivem a implantação deste.

Para estudos futuros vislumbra-se que a partir dos dados obtidos neste estudo para estoque de carbono e nitrogênio nas pastagens com Sistema Silvipastoril com Núcleos poder-se-ia através de modelagens estimar o carbono estocado em vários cenários de implantação de SSPnúcleos em percentuais distintos das pastagens do Bioma Mata Atlântica.

Assim, poderíamos entender o potencial do Sistema Silvipastoril com Núcleos em mitigar, mesmo que parcialmente, o impacto da pecuária convencional na emissão dos GEE e mudanças climáticas. Este efeito seria sinérgico com as melhorias no microclima (Deniz et al., 2019), ambiência (Deniz et al., (2020), atributos do solo (Battisti et al. 2018) e biodiversidade (Simioni, 2019) caracterizando o sistema como um desencadeador de processos de restauração e reabilitação ecológica nos agroecossistemas.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq através do “Projeto Sinergias entre Serviços Ecológicos e Agroecologia na Mata Atlântica (PVE/CNPq 71/2013)” no âmbito do Laboratório de Sistemas Silvipastoris e Restauração Ecológica LASSre/PPGA do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina PPGA/UFSC. O estudo contou com o apoio da Coordenação Brasileira de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, do Gund Institute for Environment da University of Vermont EUA, e do Instituto de Energia e Meio Ambiente da Universidade de São Paulo-IEE / USP.

Referências

Ainalis, A. B. & Tsiouvaras, C. N. (1998). Forage production of woody fodder species and herbaceous vegetation in a silvopastoral system in northern Greece. *Agroforestry Systems*, 42, 1–11.

Altieri, M. (2012). *Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável* Autor: Peso: Expressão Popular, 400p.

Asfaw, S., Pallante, G., & Palma, A. (2018). Diversification Strategies and Adaptation Deficit : Evidence from Rural Communities in Niger. *World Development*, 101, 219–234.

Asha, K. M. V., Kurien, K., Bastin, B. & Pradeep, T. K. (2019). High density silvopasture systems for quality forage production and carbon sequestration in humid tropics of Southern India. *Agroforestry Systems*, 93(1), 185–198.

Assunção, J. (2016). Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. *Environmental and Development Economics*, 21, 581–602.

Pérez A., M., Medina A. M. F., Hurtado, G. A., Arboleda, E. M., & Medina, S. M.. (2019). Reservas de carbon del pasto *Cenchrus clandestinus* (Poaceae) en los Sistemas de manejo tradicional y silvopastoril, en diferentes relieves. *Revista de Biología Tropical*, 67 (4), 769–783.

Azevedo, T. R., Costa, C., Brandão, A., Dos Santos Cremer, M., Piatto, M., Tsai, D. S. & Kishinami, R. (2018). SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. *Scientific Data*, 5, 1–43.

Bambo, S. K., Blount, A. R., Nowak, J., Long, A. J., Myer, R. O., & Huber, D. A. (2009). Annual cool-season forage nutritive value and production after overseeding into bahiagrass sod in silvopastoral systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 33 (8), 917–934.

Barros, F, Gomes, G., Fracetto, M., Andrade, M., & Junior, L. (2018). Silvopastoral systems drive the nitrogen-cycling bacterial community in soil. *Ciência e Agrotecnologia*, 42(3), 281–290.

Battisti, Z. F. L., Luiz, A., Filho, S., & Sinisgalli, A. (2018). Soil chemical attributes in a high biodiversity silvopastoral system Atributos químicos del suelo en un sistema silvopastoril de alta biodiversidad. *Acta Agronomic*. (2018) 67 (4) p 486-493.

Beecher, M., Hennessy, D., Boland, T. M., Mcevoy, M., Donovan, M. O. & Lewis, E. (2013). The variation in morphology of perennial ryegrass cultivars throughout the grazing season and effects on organic matter digestibility. *Grass and Forage Science*, (June), 1–11p.

Bryant, A. M. (1990). Present and future grazing systems. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 50.

Caballé G. (2013). Efecto interactivo de la defoliación del estrato herbáceo y la cobertura del estrato arbóreo sobre el crecimiento del estrato herbáceo en sistemas silvopastoriles. Tese Doutorado em Ciências Agropecuária. Universidad de Buenos Aires. Universidad Nacional de La Plata - Argentina.

Cárdenas, C. A. M. & Ibrahim, H. M. (2019). Ecological structure and carbon storage in traditional silvopastoral systems in Nicaragua. *Agricultural Systems*, 93, 229–239.

Cardona, C. A. C., Ramírez, J. F. N., Morales, A. M. T., Murgueitio, E., Orozco, J. D. C., Vera, J. K. & Rosales, R. B. (2013). Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciências Pecuárias*, 76–94.

Carvalho, W. T. V., Minighin, D. C., Gonçalves, L. C., Villanova, D. F. Q., Mauricio, R. M. & Pereira, R. V. G. (2017). Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. *Pubvet*, 11(10), 1036–1045. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v11n10.1036-1045>

Castillo, M. Tiezzi, F. & Franzluebbbers, A. (2020). Tree species effects on understory forage productivity and microclimate in a silvopasture of the Southeastern USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 295.

Cerri, C. C., Bernoux, M., Cerri, C. E. P. & Feller, C. (2004). Carbon cycling and sequestration opportunities in South America : the case of Brazil. *Soil Use and Management*, 20, 248–254. <https://doi.org/10.1079/SUM2004237>

Cerri, C. E. P., Sparovek, G., Bernoux, M., Easterling, W. E., Melillo, M. & Cerri, C. C. (2007). Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Sci. Agric.*, 64 (February), 83–99.

Chaturvedi, O. P., Handa, A. K., Kaushal, R., Uthappa, A. R., Sarvade, S. & Panwar, P. (2016). Biomass production and carbon sequestration through agroforestry. *Range Mgmt in Agroforestry*, 37(2), 116–127.

Chen, W., Huang, D., Liu, N., Zhang, Y., Badgery, W. B., Wang, X. & Shen, Y. (2015). Improved grazing management may increase soil carbon sequestration in a temperate steppe. *Scientific Reports*, 1–13. <https://doi.org/10.1038/srep10892>

Conant, R. T., Cerri, C. E. P., Osborne, B. B. & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks : a new synthesis. *Ecological Applications*, 27(2), 662–668. <https://doi.org/10.1002/eap.1473>

Craesmeyer, K.C., Schmitt Filho, A.L., Hotzel, M.J., Diniz, M., Farley, J. Utilização da Sombra por Vacas Lactantes sob Sistema Voisin Silvopastoril no Sul do Brasil. *Cadernos de Agroecologia*, [S.l.], v. 11, n. 2, jan. 2017. ISSN 2236-7934. <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/21524>

Dalzell S.A., Shelton H.M., Mullen B.F., Larsen P. & McLaughlin, G. (2006). *Leucaena: a guide to establishment and management*. Meat & Livestock Australia Ltd. Sydney, Australia.

Deniz, M., Schmitt Filho, A. L., Farley J., Quadros, S. F., & Hotzel, M. J. (2019). High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. *International Journal of Biometeorology*, v. 63, p 83-92. doi.org/10.1007/s00484-018-1638-8

Deniz, M., Schmitt Filho, A. L., Hötzel, M. J., Tenffen de Sousa, K., Machado Filho, L. C., & P., Sinisgalli, P. A. (2020). Microclimate and pasture preferences by dairy cows under High Biodiversity Silvopastoral System in southern Brazil. *International Journal of Biometeorology*. DOI 10.1007/s00484-020-01975-0

Dias-Filho, M. B. (2014). Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Documentos/Embrapa Pará. Amazônia Oriental, p. 36, Belém - Pará

Domiciano, L. F., Mombach, M. A., Carvalho, P., Pereira, D. H., Cabral, L. S., Lopes, L. B. & Pedreira, B. C. (2016). Performance and behavior of Nellore steer on integrated systems. *Animal Production Science*, (EMBRAPA 1999).

Ehret, R. Grab, R. & Wachendorf, M. (2015). The effect of shade and shade material on white clover / perennial ryegrass mixtures for temperate agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 89, 557–570.

Fang, Z., & Peng, C. (2001). Interannual Variability in net primary production and Precipitation. *Science*, 293, 1–3.

Fernández, G. R. & Fandiño, B. (2013). Producción de forraje y respuesta de cabras en crecimiento en arreglos silvopastoriles basados en *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Crescentia cujete*. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.*, 14, 77–89. https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num1_art:345

Fornara, D. A., Olave, R., Burgess, P., Delmer, A., Upson, M., & Mcadam, J. (2018). Land-use change and soil carbon pools: evidence from a long-term silvopastoral experiment. *Agricultural Systems*, 92, 1035–1046.

Fountain, P. H. (2019). Climate change is accelerating, dangerously bringing the world closer to irreversible change. *The New York Times*, 2–6.

Gaitán L., Läderach P., Graefe S., Rao I., & Hoek, R. (2016) Climate-Smart Livestock Systems: An Assessment of Carbon Stocks and GHG Emissions in Nicaragua. *PLoS ONE* 11(12): doi:10.1371/journal.pone.0167949

Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Oliveira, G. L., Carvalho, M. E., Macêdo, E. O., Andrade, A. C. & Edvan, R. L. (2019). Effect of shading and canopy height on pasture of *Andropogon gayanus* in silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, 5. doi: 10.1007/s10457-019-00458-5

Hernández-Esteban, A., López-Días, M., Cacéres, Y. & Moreno, G. (2018). Are sown legume-rich pastures effective allies for the profitability and sustainability of Mediterranean dehesas? *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0307-6>

IBGE. (2015). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Santa Rosa de Lima. Disponível em: <<http://santa-catarina/santa-rosa-de-lima>>.

IPCC. (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change. 1 (October), 27–31.

IPCC. (2019). Climate Change and Land. Aquecimento Global de 1,5°C. Sumário para Formuladores de Políticas. Incheon, República da Coreia do Norte.

Jat, M. L., Dagar, J. C., Sapkota, T. B., Yadvinder-Singh., Govaerts, B., Ridaura, S. L., Saharawat, Y. S., Sharma, R. K, Tatarwal, J. P., Jat, R. K., Hobbs, H. & Stirling, C. (2016). Climate Change and Agriculture: Adaptation Strategies and Mitigation Opportunities for Food Security in South Asia and Latin America. *Advances in Agronomy*, v. 137. doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.005

Jose, S. & Dollinger, J. (2019). Silvopasture: a sustainable livestock production system. *Agroforestry Systems*. 93(1), 1–9.

Junior, M. A. L., Fracetto, F. J. C., Ferreira, J. S., Silva, M.B. & Fracetto, G. G. M. (2020). Legume-based silvopastoral systems drive C and N soil stocks in a subhumid tropical environment. *Catena*, 189, doi.org/10.1016/j.catena.2020.104508.

Kirby, K. R. & Potvin, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, v. 246, 208–221 p. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.072>

Knops, J. M. H. & Tilman, D. (2000). Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment. *Ecology*, v. 81 n°.1 , 88–98 p.

Vol. 81, No. 1 (Jan. 2000), pp. 88-98 (11 pages)

Kretzer, S. (2019). Influência do sistema silvipastoril com núcleos de alta biodiversidade na dinâmica e microclima forrageiro. Dissertação mestrado em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. 80p.

Lenka, S., Lenka, N. Sejian, V. & Mohanty M. (2015) Contribution of Agriculture Sector to Climate Change. In: Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C. (eds) *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer, New Delhi. doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1_3

Liang, A., Xinhui, H., Fazhu, Z., Guangxin, R. & Gaihe, Y. (2014). Dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation in the gully region of Loess Plateau, China. *Society of Agricultura Engineering*, v. 30, 148–157. doi : [10.3969/j.issn.1002-6819.2014.23.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.23.019)

López-Santiago, J. G., Casanova-Lugo, F. Villanueva-López, G., Díaz-Echeverría, V., Solorio-Sánchez , F. J., Martínez-Zurimendi, P., Aryal, D. A. & Chay-Canul, A. (2018). Carbon storage in a silvopastoral system compared Mexico to that in a deciduous dry forest in Michoaca. *Agroforestry Systems*. V. 93, 199-211 p. doi.org/10.1007/s10457-018-0259-x

Loveland, T. R., Reed, B. C., Brown, J. F., Ohlen, D. O., Zhu, Z. & Yang, L. (2010). Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21 1303-1330 p. <https://doi.org/10.1080/014311600210191>

Luchese, E. B., Favero, L. & Lenzi, E. (2002). *Fundamentos da química do solo*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 182p.

Luo, Y., Su, B., Currie, W., Dukes, J. S., Finzi, A., Hartwig, U., Hungate, B. A., McMurtrie, R. E., Oren, R., Parton, W. J., Pataki, D. E., Shaw, M. R. & Field, C. B. (2004). Progressive

Nitrogen Limitation of Ecosystem Responses to Rising Atmospheric Carbon Dioxide. *BioScience*. v. 54, 731-739 p. DOI: 10.1641/0006-3568(2004)054[0731:PNLOER]2.0.CO;2

MAPA. (2012). Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. Ministério da Agricultura, 173.

Marchão, R. L., Becquer, T., & Brunet, D. (2011). Predição dos teores de carbono e nitrogênio do solo utilizando espectrometria de infravermelho próximo. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento*, nº 304 EMBRAPA Cerrados. p. 21. ISSN 1676-918x.

Mata, G., Clark, D. A., Edirisinghe, A., Waugh, D. & Minnee, G. S. G. (2007). Predicting accurate paddock-average pasture cover in Waikato dairy farms using satellite images. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, v. 69 p. doi.org/10.33584/jnzg.2007.69

Mbow, C., Smith, P., Skole, D., Duguma, L. & Bustamante, M. (2014). Science Direct Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Environmental Sustainability*, v. 6, p 8–14. doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002

Munroe, J. W. & Isaac, M. E. (2014). N₂-fixing trees and the transfer of fixed-N for sustainable agroforestry: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, v. 34, p. 417–427. [doi 10.1007/s13593-013-0190-5](http://doi.org/10.1007/s13593-013-0190-5)

Murphy, S. & Lodge, G. M. (2002). Ground cover in temperate native perennial grass pastures. I comparison of four estimation methods. *The Rangeland Journal*, v. 24, p. 288-300. [doi: 10.1071/RJ02016](http://doi.org/10.1071/RJ02016)

Nguyen, H. Q. (2017). Analyzing the economies of crop diversification in rural Vietnam using an input distance function. *Agricultural Systems*, v. 153, p. 148–156. doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.024

Oliveira, A. P., Casagrande, D. R., Bertipaglia, L. M. A., Barbero, R. P., Berchielli, T. T., Ruggieri, A. C. & Reis, R. A. (2016). Supplementation for beef cattle on Marandu grass pastures with different herbage allowances. *Animal Production Science*, v. 56, p. 123–129. doi: 10.1071/AN14636

Oliveira, P. C. & Carvalho C. R. (2010). Respostas ecofisiológica por espécies arbóreas acumuladoras de fósforo na Amazônia. *Revista Holos*, v.1. <https://doi.org/10.15628/holos.2010.317>.

Oliveira, P. C., Carvalho C. J. R. (2011). Estratégias de sobrevivência de espécies arbóreas em ambientes deficientes por fósforos na Amazônia. *Revista Holos*, v. 2. <https://doi.org/10.15628/holos.2011.441>

Omer, R. M., Hester, A. J., Gordon, I. J. & Swaine, M. D. (2006). Seasonal changes in pasture biomass, production and offtake under the transhumance system in northern Pakistan. *Journal of Arid Environments*, v. 67, p. 641–660. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.03.008

Pachauri, R. K. (2013). Conclusions of the IPCC Working Group I Fifth Assessment Report, AR4, SREX, and SRREN. Chairman, Intergovernmental Panel on Climate Change, (November).

Pang, K., Van Sambeek, J. W., Navarrete-Tindal, N. E., Lin, C. Shibu, J. & Garret, H. E. (2017). Responses of legumes and grasses to non-, moderate, and dense shade in Missouri, USA. I. Forage yield and its species-level plasticity. *Agroforestry Systems*. 98, 25-38.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. 1ª ed. Santa Maria, RS: UFSM, NTE. ISBN 978-85-8341-204-5

Peri, P. L., Dube, F. & Varella, A. C. (2016). Silvopastoral Systems in Southern South America. In: *Silvopastoral Systems in the Subtropical and Zones of South America: An Overview*. Advances in agroforestry. v. 11. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-319-24109-8_1

Peri, P. L., Lucas R. J. & Moot, D. J. (2017). Dry matter production morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforestry Systems*, 70, 63–79. doi.org/10.1007/s10457-007-9029-x

Peri, P. L., Banegas, N., Gasparri, I., Carranza, C. H., Rossner, B. Pastur, G. J. M., Cavallero, L. Lopez, D. R., Loto, D., Fernandez, P. D., Powell, P. A., Ledesma, M., Pedraza, R., Albanesi, A., Bahamonde, H. A., Ecclesia, R. & Piñeiro, G. (2018). Carbon Sequestration in Temperate Silvopastoral Systems, Argentina. In: Montagnini F. (eds) *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty*. *Advances in Agroforestry*, vol 12. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_19

Piacentini, V. Q., Aleixo, A., Agne, C. E., Maurício, G. N., Pacheco, J. F., Bravo, G. A., Brito, G.R. R., Naka, L. N., Olmos, F., Posso, S., Silveira, L. F., Betini, G. S., Carrano, E., Franz, I., Less, A. C., Lima, L. M., Pioli, D., Schucnk, F. Amaral, F. R., Bencke, G. A., Cohn-Haft, M., Figueiredo, L. F. A., Straube, F. C. & Cesari, E. (2015). Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee/Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 23(2), 91–298.

Pinheiro-Machado, L. C. (2010). Pastoreio racional Voisin: tecnologia agroecológica para o terceiro milênio. *Expressão Popular*, 3 (19).

Plevich, J. O., Gyenge, J., Delgado, A. S., Tarico, J. C., Fiandino, S. & Utello, M. J. (2019). Production of Fodder in a Treeless System and in Silvopastoral System in Central Argentina. *Floresta e Ambiente*, 26(1), 1–12.

Salomão, P. E. A., Barbosa, L. C. & Cordeiro, I. J. M. (2020). Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. *Research Society and Development*, v. 9, n. 2, doi: <http://dx.doi.org/10.33448/srd-v9i2.2057>

Santos, D. C., Guimarães J. R., Vilela, L., Pulrolnik, K., Bufon, V. B., & França, A. F. S. (2016). Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 233, 16–24. doi:10.1016/j.agee.2016.08.026

Sarabia, L., Solorio, F. J., Ramírez, L., Ayala, A., Aguilar, C., Ku, J. Almeida, C., Cassador, R., Alves, B. J. & Bodydei, R. M. (2020) Improving the Nitrogen Cycling in Livestock Systems Through Silvopastoral Systems. In Meena R. (eds) Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production. p. 189-213. Springer, Singapore. doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_7

Paciullo, D. S. C., Castro, C. R. T., Gomide, C. A. M., Fernandes, P. B., Rocha, W. S. D., Muller, M. D. & Rossiello, R. O. P. (2010). Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. *Scientia Agricola*, 67 , 598–603. doi.org/10.1590/S0103-90162010000500014

Schmitt Filho A. L, Farley, J., Alvez, J., et al (2013) Integrating agroecology with payments for ecosystems services in Santa Catarina's Atlantic Forest. In: Muradian R, Rival L (eds) *Governing the Provision of Ecosystems Services, Studies in Ecological Economics*, 4th ed. Springer Netherlands: Dordrecht, Burlington, 333–355.

Schmitt Filho, A.L., Fantini, A., Sinisgalli, P., Farley, J., Schmitt, L.M. (2018) Ecological restoration, livelihood, and ecosystem services in a smallholder dominated the rural landscape. Proceedings of 2018 Conference of New England Branch of Society for Ecological Restoration /SER NE, Southern CT State University, New Haven CT USA.

Schmitt , A. L, Fantini, A.C, Farley, J., Sinisgalli, P. (2017) Nucleation theory inspiring the design of High Biodiversity Silvopastoral System in the Atlantic Forest Biome: ecological restoration, family farm livelihood and agroecology. *Anais do VII World Conference on Ecological Restoration - SER 2017, I Conferência Brasileira de Restauração Ecológica*. Foz do Iguaçu Brasil.

Schmitt Filho, A. L., Farley, J. (2020) Transdisciplinary case approaches to the ecological restoration of rainforest ecosystems. In: Felix Fuders and Pablo Donoso (Eds.), *Ecological economic and socio-ecological strategies for forest conservation: A transdisciplinary approach with special focus on Chile and Brazil*. Springer International Publishing AG. Zug Switzerland. ISBN 978-3-030-35378-0. eB ISBN 978-3-030-35379-7.

Schröter, B., Matzdorf, B., Sattler, C. & Alarcon, G. G. (2015) Intermediaries to foster the implementation of innovative land management practice for ecosystem service provision: A new role for researchers. *Ecosystem Services*. 16:192–200. doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.007

Silva, A. S., Schmitt Filho, A. L., Fantini, A. C., Zambiasi, D. C. & Sinisgalli, P. A. (2017). Estimativa de biomassa e carbono em sistema silvipastoril com núcleos arbóreos (PRVnúcleos). VI Congresso Latino-americano, X Congresso Brasileiro e V Seminário do Distrito Federal e Entorno. 12 – 15 Setembro 2017. Brasília – DF, Brasil.

Silva, R. O., Barioni, L. G., Barioni, L. G., Hall, J. A. J., Moretti, A. C., Veloso, R. F., Alexander, P., Crespolini, M. & Moran, D. (2017). Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. *Agricultural Systems*, v. 153, p. 201–211. doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.001

Simioni, G. F. (2019). Visualização de Variação da assembleia de aves em áreas pastoris e remanescentes florestais adjacentes. Tese Doutorado em Agroecossistemas. Universidade Federal de Santa Catarina.

Solorio, S. F. J., Wright, J., Franco, M. J. A., Basu, S. K., Sarabia, S. L., Ramírez, L., Ayala, B. A., Aguilar, P. C. & Ku, V. J. C. (2016). Silvopastoral Systems: Best Agroecological Practice for Resilient Production Systems Under Dryland and Drought Conditions. Quantification of Climate Variability, Adaptation and Mitigation for Agricultural Sustainability. Springer. p. 233-250. doi.org/10.1007/978-3-319-32059-5_11

Souza, J. P., Townsend, C. R., Araújo, S. R. C., & Oliveira, G. A. (2020). Características morfológicas, estruturas e agronômicas de gramíneas tropicais: uma revisão. *Research Society and Development*, v. 9, n.8, doi: <http://dx.doi.org/10.33448/srd-v9i8.6588>

Tol, R. (2018). The Economics Impact of Climate Change. *Environmental Economics and Policy*, 12(1), 4–25.

Souza, M., Kuhenen, S., Kazama, D. C. S., Kurtz, C., Trapp, T., Muller, J., & Comin, J. J. (2017). Predição dos teores de compostos fenólicos e flavonoides na parte aérea das espécies

Secale cereale L., Avena strigosa L., E Raphanus sativus L., por meio de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR). Química Nova. v. 40, nº 9, 1074-1081. doi.org/10.21577/0100-4042.20170120

Wilm, H. G., Costello, D. F. & Klipple, G. E. (1944). Estimating Forage Yield by the Double-sampling Method. Agronomy Journal, 36, p. 119–203

Zhang, Y., Liao, X., Wang, Z., Wei, X., Jia, X. & Shao, M. (2020). Synchronous sequestration of organic carbon and nitrogen in mineral soils after conversion agricultural land to forest. Agriculture, Ecosystems & Environment, 295. doi.org/10.1016/j.agee.2020.106866

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

André de Almeida Silva – 14%

Abdon Luiz Schmitt Filho – 13%

Daniele Cristina Silva Kazama – 12,5%

Arcângelo Loss – 12,5%

Monique Souza – 12%

Marisa Cássia Piccolo – 12%

Joshua Farley 12%

Paulo Antônio Sinisgalli de Almeida – 12%